



**UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA**

REGINA MAGNA FRANCO

**OS CICLOS SOLARES E SUA INFLUÊNCIA NO REGIME DE
CHUVAS**

Londrina
2013

REGINA MAGNA FRANCO

**OS CICLOS SOLARES E SUA INFLUÊNCIA NO REGIME DE
CHUVAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Departamento de Geociências para obtenção do
título de Bacharel em Geografia da Universidade
Estadual de Londrina.

Orientador: Prof.Dr^a Deise Fabiana Ely

Londrina
2013

REGINA MAGNA FRANCO

OS CICLOS SOLARES E SUA INFLUÊNCIA NO REGIME DE CHUVAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Geociências para obtenção do título de Bacharel em Geografia da Universidade Estadual de Londrina.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Orientador
Dr^a Deise Fabiana Ely
Universidade Estadual de Londrina

Prof. Componente da Banca
Dr. Jorge Alberto Martins
Universidade Tecnológica do Paraná
Campus Londrina

Prof. Componente da Banca
Dr^a Rosana Figueiredo Salvi
Universidade Estadual de Londrina

Londrina, 24 de julho de 2013.

*Aos meus pais Fernando e Sizenanda,
ao meu esposo José Carlos e aos
meus filhos Uiara, Paulo José, Ana
Carolina, José Gabriel e José Afonso.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a Nossa Senhora pelas graças que me foram concedidas durante todo o período de graduação, porque sem elas não poderia ter conseguido cumprir minha jornada.

À minha orientadora professora Deise Fabiana Ely por sua paciência comigo, e pelo seu apoio durante esta caminhada.

Agradeço de maneira especial ao professor Jorge Alberto Martins por sua grande contribuição, inestimável mesmo, durante as pesquisas para a elaboração deste trabalho.

A todos os professores do curso de Geografia que compartilharam seus conhecimentos comigo, de forma tão desprendida

Ao meu esposo José Carlos por seu apoio durante todos esses anos, não medindo sacrifícios para que eu concluísse meus estudos.

*“Olhem para o Sol”
Fátima, 1917.*

FRANCO, R.M. **Os ciclos solares e sua influência no regime de chuvas.**2013. 63 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação de Bacharel em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2013.

RESUMO

Este trabalho investiga a correlação entre os ciclos solares e os volumes pluviométricos de dez cidades brasileiras utilizando a técnica estatística da Correlação de Pearson. Os dados pluviométricos foram obtidos junto ao INMET (Insituto Nacional de Meteorologia) e a ANA (Agência Nacional de Águas) e os valores dos índices solares foram obtidos junto ao NGDC (National Geophysical Data Center). A série histórica analisada se situa entre os anos de 1961 e 2011 tanto para os valores de chuvas quanto para os valores solares. Além da estatística foram feitas pesquisas bibliográficas buscado conhecer a estrutura do Sol, a periodicidade dos ciclos solares e como os raios cósmicos interagem com os aerossóis presentes na baixa atmosfera levando à variação da nebulosidade. .

Palavras-chave: Correlação de Pearson, ciclo solar, raios cósmicos, nuvens, aerossóis.

FRANCO, R.M.. **Solar cycles and their influence on rainfall.**2013.63 pp. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação de Bacharel em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2013.

ABSTRACT

This work investigates the correlation between solar cycles and rainfall ten Brazilian cities using the statistical technique of Pearson correlation. The rainfall data were obtained from the INMET (Insituto National Meteorology) and ANA (National Water Agency) and the values of the solar index were obtained from the NGDC (National Geophysical Data Center). The time series analyzed is between the years 1961 and 2011 for both rainfall amounts of rain as indices for solar. Besides the statistical literature searches were made sought to know the structure of the Sun, the periodicity of solar cycles and how cosmic rays interact with aerosols present in the lower atmosphere leading to changes in cloudiness.

Key words: Pearson correlation, solar cycle,cosmic rays, clouds, aerosols.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - ROTAÇÃO DIFERENCIAL DO SOL.....	15
FIGURA 2 - CAMADAS DA ATMOSFERA TERRESTRE	18
FIGURA 3 - GRÁFICO DE CHUVAS DE BELÉM-PA	31
FIGURA 4 – GRÁFICO DE CHUVAS DE MANAUS - AM.....	32
FIGURA 5 – GRÁFICO DE CHUVAS DE RECIFE - PE	33
FIGURA 6 – GRÁFICO DE CHUVAS BRASÍLIA-DF.....	34
FIGURA 7 – GRÁFICO DE CHUVAS DA CIDADE DE GOIÂNIA - GO	35
FIGURA 8 – GRÁFICO DE CHUVAS DE BELO HORIZONTE	35
FIGURA 9 – GRÁFICO DE CHUVAS DA ESTAÇÃO SANTANA, SÃO PAULO – SP.....	36
FIGURA 10 – GRÁFICO DE CHUVAS DA CIDADE DE CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM	37
FIGURA 11 – GRÁFICO DE CHUVAS DE CURITIBA - PR	37
FIGURA 12 - GRÁFICO DE CHUVAS DE PORTO ALEGRE - RS.....	38
FIGURA 13 – GRÁFICO DAS OCORRÊNCIAS DOS CICLOS SOLARES ENTE OS ANOS DE 1961 E 2011	40
FIGURA 14 – GRÁFICO DO FINAL DO CICLO SOLAR NÚMERO 19	40
FIGURA 15 - GRÁFICO DO CICLO SOLAR NÚMERO 20.....	41
FIGURA 16 – GRÁFICO DO CICLO SOLAR NÚMERO 21	42
FIGURA 17 – GRÁFICO DO CICLO SOLAR NÚMERO 22	42
FIGURA 18 – GRÁFICO DO CICLO SOLAR NÚMERO 23	43
FIGURA 19 – GRÁFICO DE DISPERSÃO COM BASE NAS CORRELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS ÍNDICES SOLARES E VOLUMES ANUAIS TOTAIS DE CHUVAS ENTRE OS ANOS DE 1961 E 2011.....	45
FIGURA 20 - GRÁFICO DE DISPERSÃO COM BASE NAS CORRELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS ÍNDICES SOLARES E VOLUMES ANUAIS TOTAIS DE CHUVAS ENTRE OS ANOS DE 1961 E 2011.....	46
FIGURA 21 GRÁFICO DE DISPERSÃO COM BASE NAS CORRELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS ÍNDICES SOLARES E VOLUMES ANUAIS TOTAIS DE CHUVAS ENTRE OS ANOS DE 1961 E 2011	46
FIGURA 22 GRÁFICO DE DISPERSÃO COM BASE NAS CORRELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS ÍNDICES SOLARES E VOLUMES ANUAIS TOTAIS DE CHUVAS ENTRE OS ANOS DE 1961 E 2011	47

FIGURA 23 GRÁFICO DE DISPERSÃO COM BASE NAS CORRELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS ÍNDICES SOLARES E VOLUMES ANUAIS TOTAIS DE CHUVAS ENTRE OS ANOS DE 1961 E 2011	47
FIGURA 24 GRÁFICO DE DISPERSÃO COM BASE NAS CORRELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS ÍNDICES SOLARES E VOLUMES ANUAIS TOTAIS DE CHUVAS ENTRE OS ANOS DE 1961 E 2011	48
FIGURA 25 GRÁFICO DE DISPERSÃO COM BASE NAS CORRELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS ÍNDICES SOLARES E VOLUMES ANUAIS TOTAIS DE CHUVAS ENTRE OS ANOS DE 1961 E 2011	48
FIGURA 26 GRÁFICO DE DISPERSÃO COM BASE NAS CORRELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS ÍNDICES SOLARES E VOLUMES ANUAIS TOTAIS DE CHUVAS ENTRE OS ANOS DE 1961 E 2011	49
FIGURA 27 – GRÁFICO DE DISPERSÃO COM BASE NAS CORRELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS ÍNDICES SOLARES E VOLUMES ANUAIS TOTAIS DE CHUVAS ENTRE OS ANOS DE 1961 E 2011.....	49
FIGURA 28 – GRÁFICO DE FLUTUAÇÃO DAS CORRELAÇÕES AO LONGO DA SÉRIE HISTÓRICA DE 51 ANOS.....	54
FIGURA 29 – GRÁFICO DE FLUTUAÇÃO DAS CORRELAÇÕES AO LONGO DA SÉRIE HISTÓRICA DE 51 ANOS.....	55

LISTAS DE QUADROS

QUADRO 1 ÍNDICE DE CORRELAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO CONSIDERANDO CADA CICLO SOLAR.....	50
QUADRO 2 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE 1961 E 2011 DA CIDADE DE BELÉM - PA .	52
QUADRO 3 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO ENTRE 1961 E 2011 DA CIDADE DE BELÉM–PA (CONTINUAÇÃO)	53
QUADRO 4 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO ENTRE 1961 E 2011 DA CIDADE DE BRASÍLIA - DF	53
QUADRO 5 COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO ENTRE 1961 E 2011 DA CIDADE DE BRASÍLIA – DF (CONTINUAÇÃO)	54

LISTAS DE TABELAS

TABELA 1 – INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS DAS CIDADES BRASILEIRAS SELECIONADAS PARA SE PROCEDER A CORRELAÇÃO DE VOLUMES DE CHUVAS E CICLOS SOLARES.....	26
TABELA 2 - MESES CUJOS DADOS FORAM IMPUTADOS SEGUINDO O MÉTODO DE MÉDIA ARITMÉTICA SIMPLES.....	27
TABELA 3 - LOCALIZAÇÃO E DADOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS CUJOS DADOS FORAM UTILIZADOS PARA SE PROCEDER A CORRELAÇÃO ENTRE OS VOLUMES DE CHUVAS E CICLOS SOLARES	30
TABELA 3 - LOCALIZAÇÃO E DADOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS CUJOS DADOS FORAM UTILIZADOS PARA SE PROCEDER A CORRELAÇÃO ENTRE OS VOLUMES DE CHUVAS E CICLOS SOLARES (CONTINUAÇÃO).	31
TABELA 4 – CORRELAÇÃO CONSIDERANDO PERÍODO DE 51 ANOS	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

NGDC – National Geophysical Data Center

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 O SOL.....	14
2.1 MANCHAS SOLARES.....	15
2.2 OS CICLOS SOLARES.....	16
3 A ATMOSFERA TERRESTRE E A COBERTURA DE NUVENS	18
4 METODOS.....	25
5 APRESENTAÇÃO DOS DADOS DOS VOLUMES TOTAIS DE CHUVAS, DOS ÍNDICES SOLARES E ANÁLISE DE SUAS CORRELAÇÕES.....	30
5.1 REGIME PLUVIOMÉTRICO.....	30
5.2 VARIABILIDADE DA OCORRÊNCIA DAS MANCHAS SOLARES	39
5.3 APRESENTAÇÃO DA ANÁLISE DOS RESULTADOS DA CORRELAÇÃO	43
REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

Logo após a invenção do telescópio, Galileu Galilei fez suas primeiras observações das manchas solares em 1611. Silva (2006) trás uma tabela onde consta o número de manchas solares ano a ano desde 1610 até 2005. A partir das informações contidas nessa tabela é possível verificar que entre os anos de 1645 e 1715 foram verificadas poucas ou nenhuma mancha solar. Esse período de baixa atividade solar coincide com o período conhecido como “*Pequena Idade do Gelo*” que, no meio científico astronômico, ficou conhecido como de Mínimo de Maunder.

Por volta de 1843, o astrônomo amador Samuel Heinrich Schwabe descobriu que o número de manchas solares seguia um ciclo de aproximadamente 11 anos, alternando entre máximos e mínimos. Descobriu-se então, que havia uma relação entre o número de manchas e erupções solares. Quanto maior o número de manchas, maior o número de erupções no Sol.

Segundo Ayoade (1996) 99,97% da energia que é utilizada para vários fins no sistema Terra-atmosfera é fornecida pelo Sol, portanto, o Sol é o provedor da maior quantidade de energia que a Terra recebe. Partindo deste pressuposto seria lógico presumir que o comportamento desta estrela poderia influir nos acontecimentos atmosféricos presentes no planeta. Sendo assim o objetivo principal deste trabalho é investigar, partindo das oscilações cíclicas solares, como estas oscilações influenciam o clima da terra e mais precisamente no comportamento pluviométrico.

A tentativa de se associar os ciclos das manchas solares a eventos climáticos severos ligados aos volumes pluviométricos, tanto na questão dos grandes volumes de chuvas quanto aos grandes períodos de seca, não é nova. Mike Davis (2002), em seu livro *Holocaustos Coloniais*, dedica algumas páginas para relatar sobre a tentativa de alguns cientistas de relacionar as manchas solares com a ocorrência de uma grande seca que assolou países como China, Brasil e Índia. Davis (2002) cita Hunter, que tentou relacionar uma seca ocorrida no sul da Índia com as manchas solares. No Brasil, ainda segundo Davis (2002), em 1878 foi publicado um artigo no Diário Oficial do Brasil que relacionava as manchas solares e as secas no Ceará; cujos autores procuravam estabelecer as mesmas relações que Hunter.

Finalmente, somente para completar as citações, destaca-se Sir Stanley Jevons, um dos patriarcas da economia neoclássica matematizada, publica uma série de

artigos no final do século XIX que discute a relação entre a atividade das Manchas solares com crises comerciais. (DAVIS, 2002).

Atualmente, os cientistas dispõem de uma gama de informações e conhecimentos muito maior sobre o comportamento do clima e do Sol. Informações que os citados esses pioneiros do século XIX não possuíam. Talvez agora se possa chegar mais próximo, ou não, de se estabelecer uma relação entre o comportamento das manchas solares com o do clima e, conseqüentemente, produzir formas de prevenção da sociedade em virtude da ocorrência de fenômenos climáticos severos.

No primeiro tópico serão abordados os conhecimentos referentes ao Sol, sua estrutura bem como o comportamento das manchas solares e o comportamento cíclico do Sol.

As questões a respeito da atmosfera e como ela se estrutura é assunto do terceiro tópico. Nesse tópico também serão apresentadas como se formam as nuvens e o papel que os aerossóis exercem sobre elas. Na sequência é apresentada a metodologia utilizada para a pesquisa, seguido, pelas análises e resultados das correlações.

2 O SOL

O Sol é a estrela mais próxima da Terra e, conseqüentemente, a mais estudada. Segundo Silva (2006), apesar deste astro ser estudado há séculos, somente a partir da década de 1980 é que se ampliou o conhecimento a seu respeito. O fator por trás disso é o advento dos satélites que, livres da atmosfera terrestre, permitiram desvendar alguns segredos das emanações solares.

O Sol é o maior objeto em nosso sistema solar e responde por aproximadamente 98% da massa total do sistema. A camada externa visível do Sol é chamada fotosfera e tem temperatura aproximada de 6.000 °C. Esta camada tem uma aparência turbulenta devido às erupções energéticas. (SILVA, 2006).

Penereiro et al (s/d) coloca que a maior parte das informações provenientes do Sol que chega até o planeta Terra provem da sua superfície cuja dimensão é cerca de um milésimo de seus raio e compreende a fotosfera, a cromosfera e coroa inferior. Segundo os autores,

Somente esta pequena parte, a mais externa do Sol, é capaz de enviar-nos a radiação eletromagnética que não terá interação com mais nada. [...] essa radiação contém informações sobre quais são as condições físicas, tais como: pressão, temperatura e a densidade da região que emitiu, isto é, a superfície solar.

Baseando-se na teoria da evolução estelar e aplicando a uma estrela do tipo solar temos:

No centro se encontra um *núcleo* onde se produz toda a energia através de reações de fusão nuclear. Esta é transportada via uma ampla *zona radiativa*, que assim é denominada porque os fótons gerados no núcleo são transportados por radiação, isto é, por emissão e absorção por parte dos átomos presentes. A partir de certo nível a convecção é mais eficiente no transporte de energia que a radiação e, assim, começa a *zona convectiva* que se estende até a superfície onde é possível observá-la. (PENEREIRO et al, s.d., p. 41)

De acordo com Silva (2006), a densidade do Sol é máxima no centro e decresce em direção à superfície. No que se refere à temperatura, esta apresenta comportamento semelhante à densidade, decrescendo de 15 milhões Kelvin para 5780 K na superfície.

No que diz respeito à atmosfera solar, Silva (2006) esclarece que a fotosfera é a camada que está mais próxima da superfície do sol e tem, aproximadamente, 300 km de espessura. A cromosfera, visível em eclipses solares, pode ser observada em comprimentos de ondas do visível, ultravioleta e altas frequências de rádio. A terceira camada, a coroa, é a mais

extensa e permeia todo o meio interplanetário e só pode ser observada durante os eclipses solares.

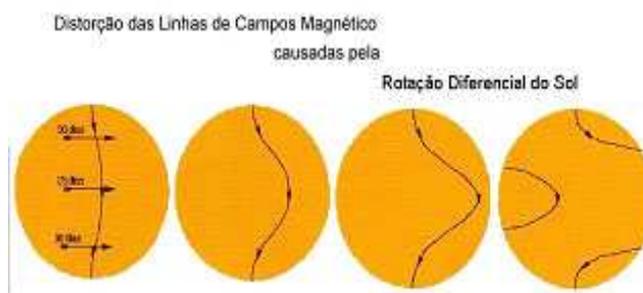
2.1 MANCHAS SOLARES

De acordo com Penereiro et al (s.d.) a teoria mais aceita para explicar o surgimento das manchas na superfície do Sol é a teoria cinemática do dínamo. O Sol é constituído de uma matéria fluída com alta temperatura e gira de forma diferencial em função da sua latitude.

Assim como acontece com a Terra, o Sol também apresenta um movimento de rotação (revolução), ou seja, ele gira em torno de seu eixo. O período de rotação, segundo Silva (2006) é de aproximadamente 27 dias terrestres. O Sol, por ser gasoso, não gira como uma esfera sólida, como ocorre com a Terra. Na realidade, as regiões próximas ao equador solar giram mais rápido, dando uma volta completa em 26 dias, enquanto que as regiões polares demoram 34 dias para completar uma volta. Este fenômeno é chamado de rotação diferencial do Sol.

Esta rotação diferencial, conforme ressalta Costa (2004), é apontada como a causa principal do surgimento das Manchas Solares. A cada rotação as linhas do campo magnético do Sol aproximam-se mais e mais uma das outras, como pode ser observado na fig. 1 arrastando consigo o plasma, chegando num determinado momento em que as linhas se reconectam provocando liberação de energia.

Os cientistas acreditam, de acordo com Penereiro et al (s.d.) que nestas regiões ocorram “ áreas de cisalhamento, ou *camadas interfacial*, que formam o dínamo que por sua vez, gera o principal campo magnético do Sol” (s.d., p. 42).



**Figura 1 - rotação diferencial do Sol.
Fonte: Penereiro et al, s.d., p.41**

Segundo Silva (2006), as manchas solares são regiões escuras que ocorrem na superfície solar na faixa do visível. São escuras porque esta região possui um campo magnético mais intenso que, por sua vez, interferem na convecção de energia proveniente da camada convectiva e fazem com que este local fique mais frio. De acordo com a autora, enquanto o disco solar fica na faixa de 5780 K a temperatura nas manchas gira em torno de 4580 K.

Casta (2004) coloca que as manchas podem surgir isoladas ou em grupos, quando então o campo magnético associado é bem mais intenso. Os grupos de manchas ressurgem em intervalos de aproximadamente 11 anos, período conhecido como ciclo solar. Ainda segundo Castro (2011), no auge da atividade dessas regiões perturbadas manifesta-se uma rápida explosão chamada labaredas solar (ou *solar flare*, em inglês). Um indicativo da iminência de um *flare* é o rápido aumento de áreas ocupadas por um grupo de manchas solares, comuns nos períodos de máximo solar.

2.2 OS CICLOS SOLARES

Os gregos e os chineses já haviam observado manchas escuras no Sol há, pelo menos, 4000 anos atrás. No entanto, foi somente a partir de Galileu¹, com a utilização do seu telescópio em 1610, que essas manchas passaram a ser continuamente monitoradas.

Em 1843, Schwabe² mostrou que o número de manchas no disco solar variava com o passar dos anos. Echer et al (2003) aponta que o estudo das manchas ao longo de décadas mostrou que sua presença é periódica e que o número de manchas aumenta e diminui, em média, a cada 11 anos.

Almeida (2001) salienta que a fase ascendente do ciclo solar varia entre 4 e 5,5 anos e que a fase descendente, varia de 5 a 6,5 anos. Portanto o período descendente é mais longo. O autor ainda coloca que “[...]o número de manchas não é a causa direta das interações Sol-Terra, mas é um parâmetro indicativo do nível de radiação e de partículas emitidas naquele intervalo de tempo”. (ALMEIRA, 2001, p. 5).

¹ Galileu Galilei (1564/1642) físico, matemático, astrônomo e filósofo italiano. Teve papel preponderante na chamada Revolução Científica.

² Samuel Heirich Schwabe (1789/1875), astrônomo alemão.

Tanto os números de explosões quanto de ejeções de massa também variam periodicamente num ciclo de 11 anos, sendo muito mais frequentes, como colocado por Silva (2006), em períodos com muitas manchas solares.

Há outra característica do Sol apontada por Penereiro et al (s.d., p. 42-43) associada à polaridade solar. De acordo com os autores “após o ciclo solar de 11,2 anos, o Sol inteiro reverte sua polaridade magnética geral: o polo magnético norte se torna polo sul, e vice-versa” e ainda “ninguém ainda foi capaz de compreender perfeitamente o processo inteiro que ocorre no interior da fotosfera solar”.

Silva (2006) coloca que hoje se sabe que a variação no número de manchas solares está relacionada com a inversão de polaridade do campo magnético global do Sol. Se em determinado período de mínima solar o polo magnético positivo do Sol coincide com o seu polo norte, 11 anos depois a orientação do campo terá se invertido, com o polo magnético positivo agora coincidindo com o polo sul solar. Sendo assim, segundo Silva (2006), além do ciclo solar há também um ciclo magnético total é de 22 anos.

O objetivo deste tópico foi demonstrar de maneira bem sucinta o comportamento cíclico do Sol, baseado em informações de cientistas ligados à área. No tópico seguinte se passara a abordar como se estrutura a atmosfera da Terra, e como são formadas as nuvens e o papel destas na manutenção das temperaturas do planeta.

3 A ATMOSFERA TERRESTRE E A COBERTURA DE NUVENS

Para melhor compreender a interação da energia solar que adentra a atmosfera terrestre apresentaremos uma síntese das características desta última. Segundo Tavares (2007), a camada que envolve a Terra, conhecida como atmosfera, é composta de 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio, 0,9% de argônio, 0,03% de dióxido de carbono e traços de outros gases. Essa camada é fina e protege a Terra de variações bruscas de temperatura, mantendo-a relativamente homogênea; além de isolar sua superfície de parte da radiação ultravioleta proveniente do Sol.

A espessura da atmosfera é de cerca de 480 km, sendo que sua maior parte, cerca de 80%, se concentra nos primeiros 16 km a partir da superfície da Terra.

Ela não tem um limite exterior exato, o que se sabe é que se torna cada vez mais rarefeita à medida que se distancia da superfície terrestre até o espaço exterior, acima de 1280 km.

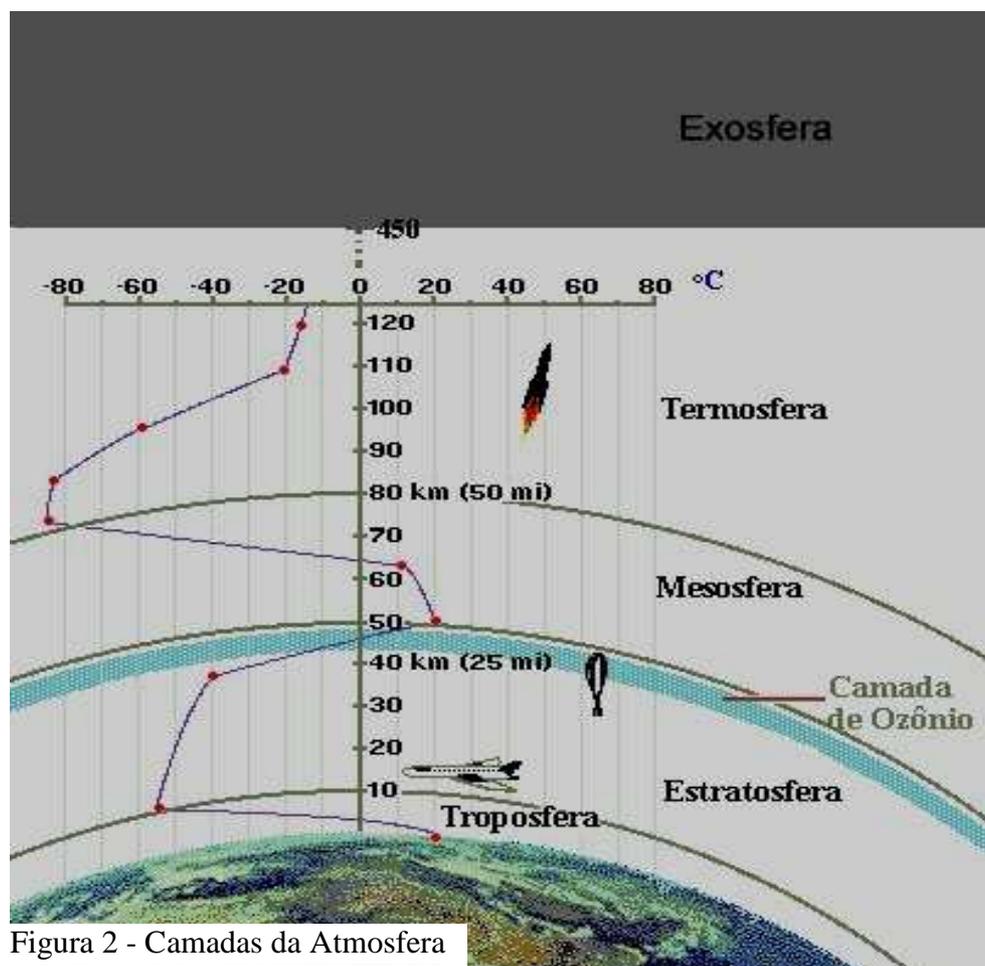


Figura 2 - Camadas da Atmosfera

Ayoade (1996, p.17-18) descreve a atmosfera como “sendo uma mistura mecânica de gases [...] extremamente volátil, compressível e” com “a capacidade de expansão”. Por serem altamente compressíveis as camadas inferiores são mais densas que as superiores diminuindo a partir de $1,2 \text{ kgm}^{-3}$, valor próximo da superfície terrestre para $0,7 \text{ kgm}^{-3}$ na altura de 5.000 metros, fazendo com que metade da atmosfera esteja concentrada abaixo de 5km.

De acordo com a figura 2, do exterior em direção à superfície da Terra, a atmosfera é dividida em cinco camadas, como descritas por Ayoade (1996):

- **Termosfera:** é o termo de classificação da parte térmica da atmosfera. Na termosfera, a temperatura apresenta variações com a altitude. Ela inclui a exosfera e parte da ionosfera. A exosfera é a camada mais externa da atmosfera da Terra (de 640 km da superfície terrestre até 1280 km). A camada inferior da exosfera é conhecida como nível crítico de escape, onde a pressão atmosférica é muito baixa (cerca de 0,15% da pressão na superfície da Terra) e a temperatura é a mais baixa (até -80°C). A ionosfera começa entre 70-80 km de altura a, aproximadamente, 640 km. Nessa região existem muitos íons e elétrons livres que são criados pela intensa radiação solar que interage com os átomos, liberando os elétrons. As auroras austrais e boreais ocorrem na ionosfera em latitudes altas.
- **Mesosfera:** O que caracteriza essa região são as temperaturas de, aproximadamente, 20°C positivo para 80°C negativo. Essa camada situa-se entre 48 e 80 km acima da superfície terrestre.
- **Estratosfera:** Camada entre 16 e 48 km. Caracteriza-se por um ligeiro aumento de temperatura com a altitude. Não há formação de nuvens nesta camada, o que pode ocorrer em camadas superiores a ela. Nesta camada está localizada a camada de ozônio da Terra, que absorve grande parte da radiação ultravioleta de alta energia (UV C)³ proveniente do Sol. Somente as nuvens mais altas como cirrus, cirrostratus e cirrocumulus situam-se na camada inferior da estratosfera.
- **Tropopausa:** É a camada limite ou camada de transição entre a troposfera e a estratosfera. Caracterizada por pouca ou nenhuma alteração da temperatura com a altitude.

³ UV C é um tipo de energia ultravioleta na frequência de 260-nanômetros. O comprimento de onda “C” é o mais germicida no espectro da UV (Fonte: uvlife.com.br) acessado em 20/09/2010.

- **Troposfera:** É a camada mais baixa da atmosfera terrestre. Inicia-se na superfície terrestre e vai até, aproximadamente, 16 quilômetros de altura, dependendo da latitude. Nessa camada é onde ocorrem as mudanças climáticas mais conhecidas e as nuvens. Na Troposfera, a temperatura geralmente diminui de acordo com a altitude a uma taxa média de 6,5°C por quilômetro.

Ainda, segundo o mesmo autor, a quantidade de radiação solar que incide sobre o topo da atmosfera da Terra depende de três fatores: período do ano, período do dia e da latitude. Assim como ocorre no solo, a atmosfera absorve e emite energia radiante e tem capacidade maior de absorver a radiação infravermelha do que a radiação de ondas curtas. Dentre os principais constituintes de da atmosfera com capacidade de absorção de radiação infravermelha estão o vapor d'água, o ozônio, o bióxido de carbono e as nuvens, que absorvem radiação em todos os comprimentos de onda.

Atualmente, é possível a aquisição de imagens de satélite de cobertura de nuvens porque de acordo com Ayoade (1996, p. 36) “as nuvens são radiadores particularmente eficazes que agem como corpos negros. A nebulosidade e a temperatura das nuvens mais altas podem, assim, ser mapeadas por satélites [...]”. Essas imagens são feitas tanto dentro do espectro visível como no infravermelho. Através desse recurso de sensoriamento remoto é possível obter imagens da concentração de vapor d'água sobre uma determinada região.

Carslaw, Harrinson e Kirkby (2002) colocam que a variação da cobertura de nuvens é importante porque estas exercem um forte controle sobre o balanço radiativo da Terra. Metade da área terrestre total é coberta por nuvens, sendo que apenas 15% dessas áreas são espessamente cobertas.

A temperatura das nuvens é, em média, 6°C menor que temperatura da superfície terrestre e as nuvens refletem em torno de 20 a 30% da radiação solar. As nuvens podem variar sua localização com a hora do dia, com o clima e a estação do ano. A latitude influencia, também, a distribuição da nebulosidade. Ayoade (1996, p.151) explica que a “distribuição latitudinal da nebulosidade anual média sobre a Terra indica que esta a nebulosidade é mais baixa nos subtropicais e mais elevada nas altas latitudes.”

Uma nuvem se forma quando o vapor de água se condensa e é mantido em suspensão na atmosfera. Para que tal condensação ocorra é necessária a presença de núcleos de condensação, partículas microscópicas transportadas pelo ar tais como: poeiras, sal marinho, pequenos pedaços de matéria orgânica, aerossóis químicos, dentre outros.

Sobre os componentes responsáveis pela nucleação, Martins⁴ esclarece que toda gotícula de nuvem ou cristal de gelo se forma a partir de uma pequena partícula comumente chamada de aerossol. Segundo o referido autor, nem todos os aerossóis se tornam gotículas ou cristais de gelo porque as propriedades químicas de cada um são determinantes.

Algumas partículas como sal marinho, por exemplo, são bons nucleadores de gotículas de nuvem, enquanto outras, como partículas de solo, são bons nucleadores de cristais de gelo. Esta característica demonstra que na ausência dessas partículas em suspensão na atmosfera não há formação de nuvens, bem como suas características dependem da quantidade de tais partículas em suspensão.

Segundo Martins, se existir uma quantidade muito grande de partículas em suspensão, naturalmente, a água da nuvem estará distribuída sobre uma quantidade muito grande de gotículas; o que aumenta a refletividade da nuvem. Esta situação está representada nas figuras 2a e 2b.



Figura 2b nuvens com muita gotícula



Figura 2a nuvem com poucas gotículas

A figura 2a representa uma nuvem com poucas gotículas e a 2b com muitas gotículas. Nas nuvens onde há maior número de gotículas há também maior refletividade.

Assim também acontece na atmosfera, quanto maior a quantidade de partículas maior o número de gotículas e cristais de gelo nas nuvens e conseqüentemente é

⁴ Informações obtidas em conversas com o Professor Dr. Jorge Martins, da Universidade Federal Tecnológica – Campus Londrina.

maior a quantidade de radiação solar refletida. Segundo Martins, este efeito é conhecido na literatura como primeiro efeito indireto dos aerossóis.

Outro efeito está associado à formação da chuva. Para que uma nuvem evolua para um estágio de precipitação é necessário que algumas gotículas levem vantagem e saiam na frente ao longo do seu crescimento.

Assim, se houver uma quantidade muito grande de partículas disputando água, irá faltar água e não será possível o crescimento das gotas e a consequente formação da chuva. Sendo assim, a precipitação é a etapa que acaba por definir o estágio de maturação de uma nuvem, de modo que, se a precipitação não ocorre, a nuvem irá se tornar maior e permanecerá por mais tempo na atmosfera. Uma nuvem maior e com maior duração refletirá mais radiação solar de volta para o espaço. Este efeito é conhecido na literatura como segundo efeito indireto dos aerossóis.

Outro componente presente na formação das nuvens e centro da investigação desse trabalho diz respeito aos raios cósmicos. Carslaw, Harrison e Kirkby (2002) esclarecem que os raios cósmicos são constituídos essencialmente de prótons de alta energia gerada por supernovas e outras fontes energéticas.

De acordo com as pesquisas realizadas por Svensmark, Bondo, Svensmark (2009), os raios cósmicos “semeiam” as nuvens de baixa altitude, que refletem uma parte da radiação solar de volta para o espaço. De acordo com os autores a quantidade de raios que atingem a Terra depende da intensidade dos ventos solares que variam em torno de 15% durante um ciclo solar. Os ventos solares se intensificam conforme aumenta a atividade solar, evidenciado pelo surgimento de maiores quantidades de manchas solares, o que acaba por desviar os raios cósmicos, diminuindo sua penetração na atmosfera da Terra o que leva a diminuição da nebulosidade e consequente aquecimento da Terra.

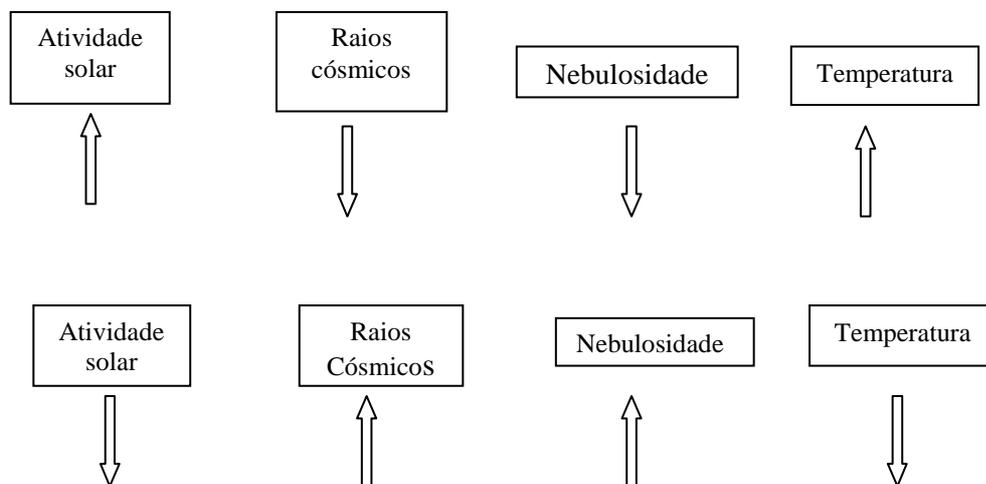
Ao contrário quando há diminuição da atividade solar, geralmente relacionada à ausência ou ao pequeno número de manchas solares, estes raios cósmicos penetram a atmosfera do planeta levando a um aumento da nebulosidade e consequente queda da temperatura.

Essas partículas ultraenergéticas vindas do espaço ao entrarem na atmosfera terrestre se chocam com moléculas de ar. Essas colisões de acordo com relatos de Svensmark, Bondo, Svensmark (2009), geram bilhões de outras partículas.

Carslaw, Harrison e Kirkby (2002, p.1732) relatam que “the correlation between cosmic rays and Earth’s cloud cover over a solar cycle, first reported by Svensmark and Friis-Christensen in 1997”, porém, de acordo com Martins o assunto ressurgiu em 2009. Pesquisadores têm

buscado correlacionar a intensidade dos raios cósmicos com a quantidade de nuvens baixas, concluindo que a cobertura de nuvens aumenta quando aumenta a penetração de raios cósmicos na atmosfera terrestre e que a cobertura de nuvens diminui quando há menor penetração desses raios. Em síntese: a variabilidade de raios cósmicos penetrando a atmosfera do planeta leva à variação da nebulosidade.

Como as nuvens baixas têm um papel de resfriamento da Terra, a temperatura da superfície aumenta com a menor incidência de raios cósmicos e diminui com o aumento da intensidade desses raios, conforme explicado no esquema abaixo:



Como foi demonstrado há fortes indícios da atuação dos raios cósmicos como nucleadores de nuvens, porém, é importante esclarecer que a atuação desses raios na formação das nuvens acontece de maneira indireta não funcionando eles próprios como nucleadores, estando sua ação relacionada à ionização da atmosfera. Como esclarece Carslaw, Harrison e Kirkby (2002) os íons positivos e elétrons livres são criados a partir da colisão desses raios com as partículas e moléculas em suspensão na baixa atmosfera. Esses íons criados permitem que ocorram outras ligações moleculares.

O estudo dessas recomposições moleculares pertence à área da microfísica estando, portanto, fora do escopo deste trabalho, porém, a intenção de entrar nesse assunto foi estabelecer uma base para explicar como a variabilidade das manchas, presente nos ciclos solares, poderia influenciar no regime de chuvas.

De acordo com Ayoade (1996, p. 166) a distribuição da precipitação sobre o planeta sofre a influência de vários fatores “como topografia (elevação), a distância a partir dos grandes corpos hídricos, a direção e caráter das massas de ar predominantes, entre outros.” O autor salienta que as precipitações podem ainda sofrer variações sazonais e

diurnas, ou seja, de acordo com o autor, a geografia tem ação preponderante sobre a precipitação.

Se as características geográficas influenciam os volumes e regimes de chuvas então é de supor que os ciclos solares teriam um papel secundário neste fenômeno. Sendo assim o objetivo geral deste trabalho é investigar se as variações dos ciclos solares levam a alguma variação no regime de chuvas. Além desse objetivo mais geral há ainda a intensão de contribuir com as Ciências Geográficas no intuito de fazer com que a Geografia avance cada vez mais se distanciando de uma posição meramente descritiva em direção a uma posição analítico-investigativa.

A Geografia contribui neste estudo através da escolha de dez cidades brasileiras situadas em diferentes regiões do país, com regimes pluviométricos e classificações climáticas diversificadas. Ayoade (1996) salienta que 98% da energia presente na Terra provêm do Sol. Sendo assim é de supor que, apesar da diversidade geográfica, o comportamento esta estrela influi no comportamento da Terra. Para alcançar este intento serão apresentadas inicialmente as características pluviométricas de cada uma das cidades e os ciclos solares ocorridos no período de análise.

4 METODOS

As pesquisas consistentes buscando determinar a correlação entre o comportamento do Sol e a variabilidade pluviométrica, como se constatou durante o processo de confecção do presente trabalho, é relativamente recente. Sendo assim a revisão bibliográfica está baseada quase que exclusivamente em periódicos, teses e artigos científicos relacionados ao tema. No que se refere às informações a respeito da estrutura do Sol e da atmosfera da Terra, por ser um conhecimento já consolidado, foram obtidas junto a obras mais antigas.

As informações sobre a formação das nuvens bem como as propriedades dos aerossóis foram obtidas, através de entrevistas, junto ao professor Jorge Alberto Martins docente da Universidade Tecnológica do Paraná, campus Londrina.

Além da revisão bibliográfica, foram utilizados dados pluviométricos de capitais brasileiras fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pela Agência Nacional de Águas (ANA). Inicialmente foram solicitados dados históricos de chuvas de dois períodos de normais climatológicas⁵, ou seja, de 1931 a 1960 e 1961 a 1990 perfazendo um total de 60 anos. Porém, ao ser encaminhada a solicitação ao INMET, os responsáveis pelo instituto informaram que os dados para a normal de 1930 a 1961 não estavam digitalizados e, portanto, indisponíveis. Diante desse fato, optou-se pelo recorte temporal compreendido entre os anos de 1961 a 2011, somando 50 anos de dados. A razão da escolha de um período tão longo decorreu da necessidade de compará-los aos ciclos solares que, como demonstrado anteriormente, são de 11 anos; em média.

A opção pelas capitais se deu por dois motivos: primeiro, as capitais geralmente são melhores aparelhadas no que diz respeito aos instrumentos e estações meteorológicas. Em segundo lugar, em um país de grande extensão territorial como o Brasil com uma geografia marcada por grande diversidade tanto de relevo, vegetação, fauna, hidrografia e clima, a opção por mais de uma capital compõe uma amostragem que respeita toda essa diversidade. É sabido que a geografia regional tem grande influência sobre o regime

⁵ As Normais Climatológicas são obtidas através do cálculo das médias de parâmetros meteorológicos, obedecendo a critérios recomendados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM). Essas medidas referem-se a períodos padronizados de 30 (trinta) anos, sucessivamente, de 1901 a 1930; 1931 a 1960 e 1961 a 1990. Como no Brasil, somente a partir de 1910 a atividade de observação meteorológica passou a ser feita de forma sistemática, o primeiro período padrão possível de ser calculado foi o de 1931 a 1960. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

de chuvas e é justamente esse critério que será considerado quando se fará a comparação entre a atividade solar e o regime pluviométrico.

O INMET enviou os dados do período mencionado para 27 capitais brasileiras. Porém grande parte de tais dados apresentavam lacunas, em alguns casos a ausência desses era de dez anos consecutivos o que impossibilitaria a comparação. Essa dificuldade foi contornada diminuindo o universo de análise para nove capitais, tendo como fonte principal de dados o INMET e a inclusão de Cachoeiro do Itapemirim no Estado do Espírito Santo, tabela 1, cujos dados são oriundos da ANA. A escolha da cidade de Cachoeiro de Itapemirim foi determinada pelo fato de estar localizada próxima do limite entre os estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo e porque os dados disponíveis cobriam todo o período a ser analisado.

Tabela 1 – Informações geográficas das cidades brasileiras selecionadas para se proceder a correlação de volumes de chuvas e ciclos solares

CIDADE	UF	REGIÃO	CLIMA ⁶	ALT.	LAT.	LONG.
Belém	PA	N	Am	10 m	01°23'6''	48°29'5''
Belo Horizonte	MG	SD	Cwa	900 m	19°9'	43°9'
Brasília	DF	CO	Aw	1000 a 1200	15°50'	47°42'
Curitiba	PR	S	Cfb	934 m	25°25'47''	49°16'19''
Cach. de Itapemirim	ES	SD	Am	35 m	20°50'56''	41°06'46''
Porto Alegre	RS	S	Cfa	10 m	30°01'59''	51°13'48''
Goiânia	GO	CO	Aw	740 m	16°40'43''	49°15'14''
São Paulo	SP	SD	Cfa	760 m	23°32'52''	46°38'09''
Recife	PE	ND	Am	4 m	8°04'03''	34°55'00''
Manaus	AM	N	Af	36 m	03°08'	60°01'

Fonte: o autor com base nos dados enviados pelo INMET e ANA

Ainda assim, as cidades escolhidas apresentavam ainda alguns dados faltantes, como mostra a tabela 2.

⁶ Segundo a classificação de Koppen.

Tabela 2 - Meses cujos dados foram imputados seguindo o método de média aritmética simples.

CIDADE	MESES DOS DADOS IMPUTADOS	ÍNDICE
Belém	Out, nov., dez/64 e jan. a dez/65 e jan. a dez/66.	0,044
Belo Horizonte	Jan. a dez/80; jan./81; jan. a dez/84; jan. a dez 85 e jan. a dez de 87.	0,080
Brasília⁷	Dez/61 e mar/62.	0,003
Curitiba	Jan. a dez/2001	0,01
Itapemirim⁸	Não foram imputados dados	-0-
Porto Alegre	Jun./67; jan. a dez/85; jan. a dez/86; jan. a dez/87 e jan. a ago./2001.	0,07
Goiânia	Mar/79; jan. a out/81	0,01
São Paulo	Jan. a dez/83	0,01
Recife	Jan. e fev./61	0,003
Manaus	Não foram imputados dados	-0-

Fonte: o autor com base no método de imputação

Nestes casos foram aplicados métodos estatísticos de imputação de dados, visando o preenchimento de falhas. Antes de descartar as capitais buscou-se como solução o procedimento metodológico proposto por Villela e Mattos (1975), representado pela função:

$$P_x = \frac{P_x}{3} \left(\frac{P_A}{P_A} + \frac{P_B}{P_B} + \frac{P_C}{P_C} \right)$$

Onde P_x é a precipitação do mês faltante, $\overline{P_x}$ é a principal média mensal da estação em questão, $\overline{P_A}$, $\overline{P_B}$, $\overline{P_C}$ são as precipitações médias mensais das estações mais próximas da estação em questão. Para aplicação deste procedimento foram utilizados dados oriundos da rede pluviométrica da ANA, que é mais densa que a do INMET. Mas foi constatado que nem sempre havia postos pluviométricos da ANA próximos das estações meteorológicas escolhidas.

Diante deste problema, optou-se, para as capitais com baixo número de dados faltantes, pela utilização da média aritmética simples:

⁷ No caso da cidade de Brasília, dado o fato de ter sido inaugurada em 1960 os dados começaram a constar na série histórica a partir de outubro de 1961. Neste caso quando da comparação com os ciclos solares partimos do mesmo mês e ano para análise.

⁸ Os dados de Cachoeiro do Itapemirim foram obtidos integralmente junto à Agência Nacional de Águas.

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N}{N}$$

Esse método é sugerido por Harrell Jr. (2001) *apud* Nunes (2007, p. 38) que consiste em basear a escolha do método de imputação de dados faltantes de acordo com a proporção:

- i. Se a proporção for menor ou igual a 0,05: pode-se utilizar o método de imputação única ou ainda considerar apenas o banco de dados completo;
- ii. Se a proporção estiver entre 0,05 e 0,15: é possível utilizar o método de imputação única sendo aconselhável o método de imputação múltipla e
- iii. Se a proporção for maior ou igual a 0,15: indica-se o uso de imputação múltipla.

Para a série temporal de dados das capitais escolhidas os índices ficaram abaixo de 0,15, somente Belo Horizonte e Porto Alegre ficaram com índices acima de 0,05. Sendo assim, conforme sugere o método citado, optou-se pela aplicação do método de imputação única para todas as cidades.

Além dessa metodologia estatística, nessa pesquisa será utilizada também a metodologia do coeficiente de correlação de Person. Segundo Figueiredo Filho e Silva Junior (2009) o coeficiente de correlação de Pearson é uma medida de associação linear que mede a força da correlação entre duas variáveis, o que atende as necessidades do presente trabalho que irá correlacionar os volumes totais de chuvas com os índices totais de manchas solares. A fórmula da correlação de Person é:

$$r = \frac{1}{n-1} \sum \left(\frac{x_i - \bar{X}}{s_x} \right) \left(\frac{y_i - \bar{Y}}{s_y} \right)$$

Este coeficiente assume valores que variam de -1 a 1. Quando:

- $r = 1$ Significa uma correlação perfeita positiva entre duas variáveis;
- $r = -1$ Significa uma correlação negativa perfeita entre duas variáveis, isto é se uma aumenta outra diminui;
- $r = 0$ Significa que duas variáveis não dependem linearmente uma da outra.

O coeficiente r negativo significa uma correlação inversamente proporcional de outro modo, quando r é positivo significa que a correlação é diretamente proporcional. Além dessa propriedade, no que se refere à interpretação dos dados quando os valores ficam:

- 0.70 \geq - (+ ou -) indicam forte correlação;
- 0.30 a 0.70 - (+ ou -) indicam correlação moderada;
- 0 a 0.30 - (+ ou -) indicam fraca correlação.

Os dados sobre o número de manchas e respectivos ciclos solares foram obtidos junto ao National Geophysical Data Center (NGDC) vinculado à National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), onde podem ser encontrados vários dados da atividade do sol desde o século XVII.

A partir dessas informações preliminares serão apresentados os dados dos volumes totais de chuvas, os dados dos índices solares e o resultado da correlação entre ambos com suas respectivas análises.

5 APRESENTAÇÃO DOS DADOS DOS VOLUMES TOTAIS DE CHUVAS, DOS ÍNDICES SOLARES E ANÁLISE DE SUAS CORRELAÇÕES

Neste tópico serão apresentados os dados sintetizados em gráficos e tabelas acompanhados de análise e outras informações complementares como localização das estações meteorológicas, e resultados das correlações entre os totais de chuvas e índices solares.

5.1 REGIME PLUVIOMÉTRICO

Neste item são apresentadas as análises dos dados pluviométricos das cidades brasileiras escolhidas para o desenvolvimento do presente trabalho (tabela 3). Destaca-se que na tabela citada estão relacionadas as estações meteorológicas com suas respectivas localizações geográficas.

Tabela 3 - Localização e dados das estações meteorológicas cujos dados foram utilizados para se proceder a correlação entre os volumes de chuvas e ciclos solares

Estação	Lat.	Long.	Alt.
Estação climatológica principal de Belém/PA	01°26' S	48°26' W	10 m
Estação climatológica principal de Belo Horizonte/MG	19°56' S	43°56' W	915 m
Estação climatológica principal de Brasília/DF	15°47' S	47°56' W	1.159,54 m
Estação climatológica principal de Curitiba/PR	25°26' S	49°16' W	923,5 m
Estação Barra do Itapemirim (n° 2140000) ⁹	21°00' S	40° 50' W	3 m
Estação climatológica principal de Porte Alegre/RS	30°03' S	51°10' W	46,97 m
Estação climatológica principal de Goiânia/GO	16°40' S	49°15' W	741,48 m
Estação climatológica principal de Mir. de Santana/SP	23°30' S	46°37' W	792,06 m

⁹ Estação de Cachoeiro do Itapemirim. O dado sobre a altitude foi obtido através do Google Earth pois este dado não constava no site da ANA.

Tabela 4 - Localização e dados das estações meteorológicas cujos dados foram utilizados para se proceder a correlação entre os volumes de chuvas e ciclos solares (continuação).

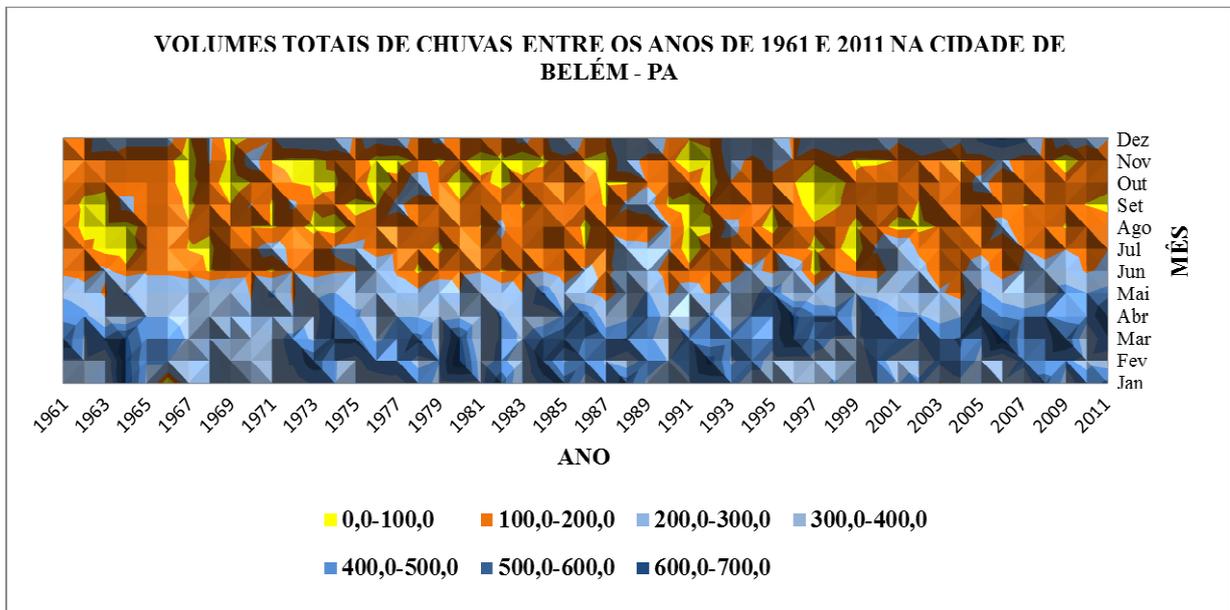
Estação climatológica principal de Recife (Curado)/PE	08°03' S	34° 57' W	10 m
Estação climatológica principal de Manaus/AM	03°07' S	59°57' W	67 m

Fonte: Próprio autor com base nos dados do INMET e ANA

As cidades da Região Norte do Brasil, cujos dados estão sendo utilizados nesse trabalho, são: Belém, no estado do Pará e Manaus, localizada no estado do Amazonas.

No estado do Pará, segundo Carmo Filho (2008), são identificados três subtipos climáticos segundo a classificação de Köppen: Af, Am e Aw. O subtipo Af se caracteriza por chuvas bem distribuídas ao longo do ano e ausência de estação seca. O Am apresenta pequena estação seca, sob influência de monções e o Aw, também denominado clima de savana, é caracterizado por invernos secos e chuvas máximas no verão. O clima de Belém é classificado como Am e a razão disso está representado na figura 3 que trás o gráficos de superfície confeccionado a partir de dados fornecidos pelo INMET.

Figura 3 - Gráfico de chuvas de Belém-PA



Fonte: O próprio autor com base nos dados do INMET

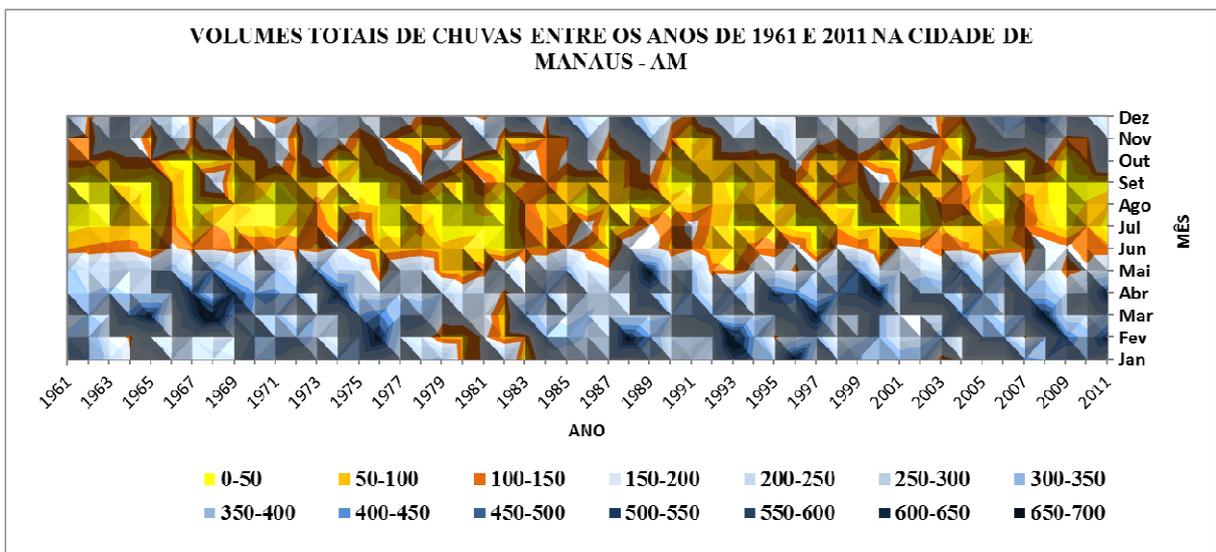
Na cidade de Belém (PA), o período entre os meses de julho a novembro é o que apresenta menores volumes totais de chuva com destaque para os meses que tiveram precipitações abaixo de 100mm como agosto, outubro e novembro. O mês de agosto é o que

apresentou os menores volumes pluviométricos variando entre 0mm em 1979, 1,6mm em 1986, 2,0mm em 1982, 2,6mm em 1967 e 3,4mm em 1965.

Em contra partida, o período de dezembro a junho é o que apresenta os volumes totais com destaque para janeiro de 1964 com 684,5mm; fevereiro de 1980 com 776,2mm e 685,6mm em março de 2006. No período analisado poucos anos registraram volumes totais entre 100 e 200mm. A predominância foi de volumes acima de 300mm.

A cidade de Manaus (AM) apresenta subtipo climático Af, pois este subtipo se caracteriza por chuvas bem distribuídas ao longo do ano e ausência de estação seca o que está de acordo com o gráfico da figura 4. Apesar desse subtipo não contemplar estação de seca, é possível perceber a partir do gráfico a existência de períodos bem marcados pela ocorrência de volumes totais de chuvas situados entre 0 e 150mm entre os meses de junho outubro.

Figura 4 – Gráfico de chuvas de Manaus - AM



Fonte: Próprio autor com base nos dados do INMET

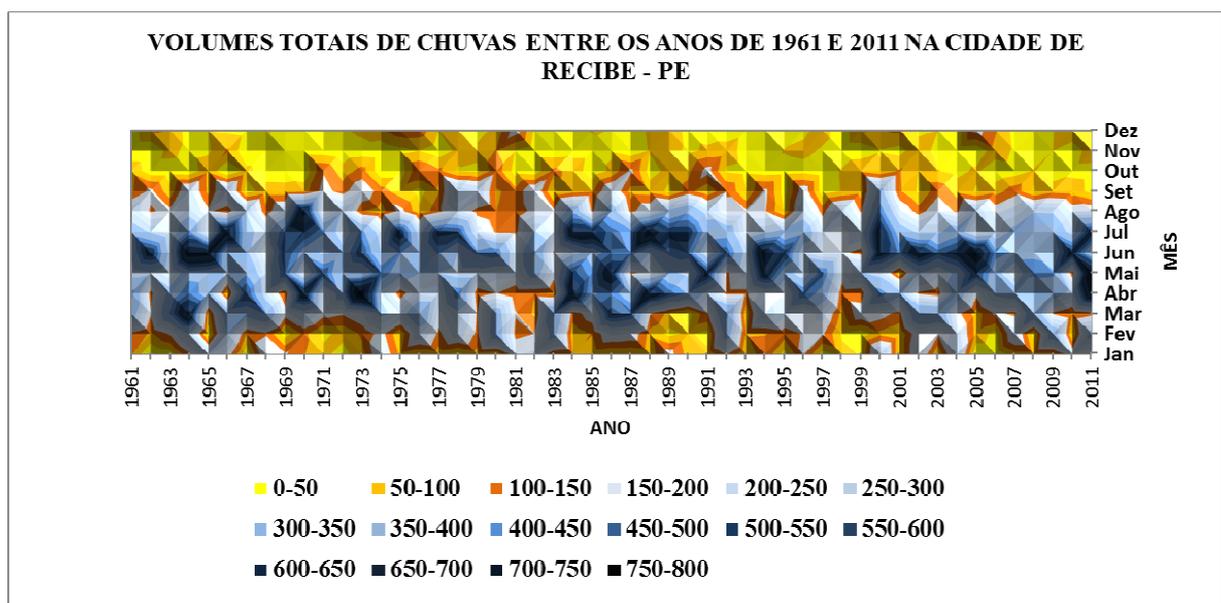
De acordo com os dados do INMET nos meses de agosto de 1979 e julho de 1997 ocorrem 0,0 mm de volumes totais mensais de chuvas. Os valores acima de 100mm ocorrem entre os meses de novembro e junho. Os meses com os maiores volumes totais mensais registrados foram: o mês de março de 1968 com 632,8mm, fevereiro de 1993 com 617,4 mm e janeiro de 1996 com 571,3mm.

Recife foi a única capital nordestina que apresentou um número menor de falhas nos dados analisados. Nas outras capitais as falhas somavam até 16 anos, como no caso de Teresina (PI), 13 anos em Maceió (AL), 12 anos em Fortaleza (CE) e Natal (RN), 9 anos

em Salvador (BA), 8 anos em João Pessoa (PB) e cinco anos de São Luiz no estado do Maranhão (MA). Salientamos que com tais falhas na série de dados a técnica de imputação pelas médias não é possível de ser aplicada, podendo distorcer os resultados finais o que justifica a retirada destas cidades da presente análise.

Com base na figura 5 a cidade de Recife apresenta os volumes totais de chuvas mais elevados nos períodos de outono e parte do inverno no Hemisfério Sul, ou seja, entre os meses de março e agosto e menores volumes entre os meses de setembro e dezembro. A cidade apresenta grande amplitude pluviométrica e acordo com os dados do INMET. O maior volume total mensal registrado em Recife no na série histórica analisada foi de 770,4mm em abril de 1973 e o menor (0,0mm) em janeiro de 1962 e em outubro de 1966. Essas características confirmam a classificação climática como sendo subtipo Am cuja principal característica é a presença de pequena estação seca e influência de monções.

Figura 5 – Gráfico de chuvas de Recife - PE



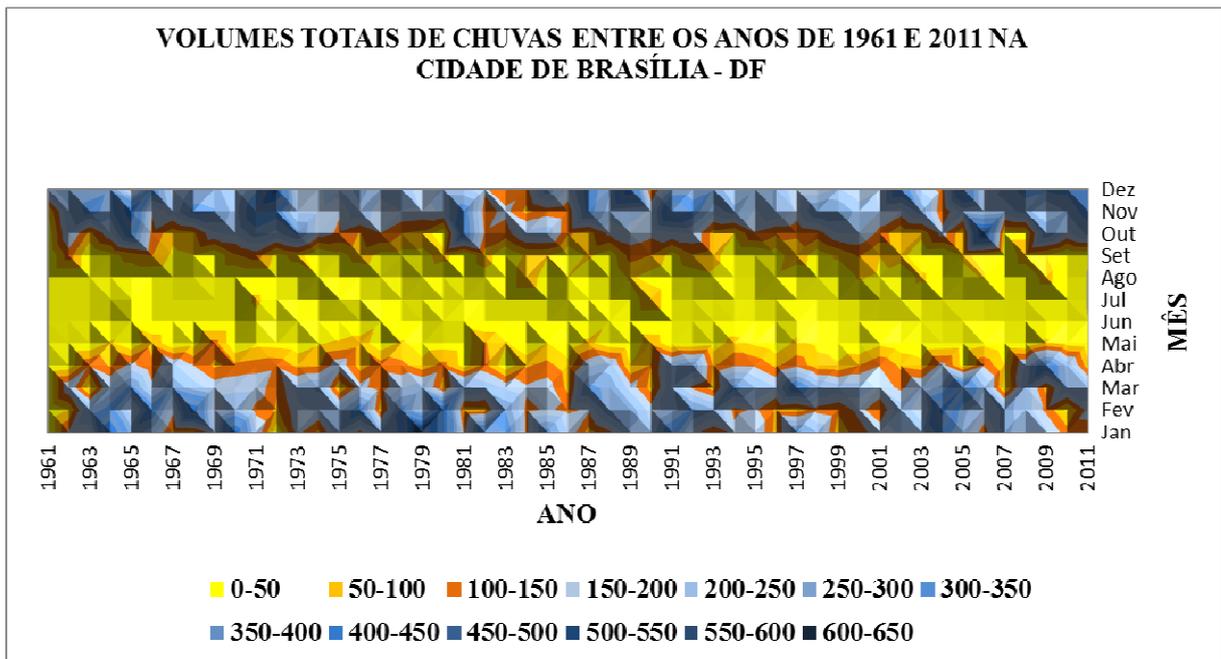
Fonte: O próprio autor com base nos dados fornecidos pelo INMET

Goiânia e Brasília foram as capitais selecionadas para a região Centro-Oeste. Assim como ocorreu com outras capitais havia muitos dados faltantes dentro da série histórica analisada nas cidades de Cuiabá e Campo Grande.

Na figura 6 estão representados os volumes totais de chuvas ocorridos na cidade de Brasília-DF. Os períodos que apresentaram os menores valores ficam entre os meses de maio e setembro, outono e inverno no Hemisfério Sul. Os meses mais secos, de acordo com os dados do INMET são os meses de junho e julho, que durante a série histórica analisada, apresentaram 0mm de chuvas em praticamente todos os anos. É possível perceber,

a partir da observação do gráfico que a cidade apresenta grande amplitude pluviométrica indo de 0mm nos períodos mais secos para 602,4mm, volume máximo da série, em janeiro de 1979 que coincide com o período mais chuvoso situado entre outubro e abril. Essa característica chuvosa no verão classifica o clima de Brasília como subtipo Aw.

Figura 6 – Gráfico de chuvas Brasília-DF

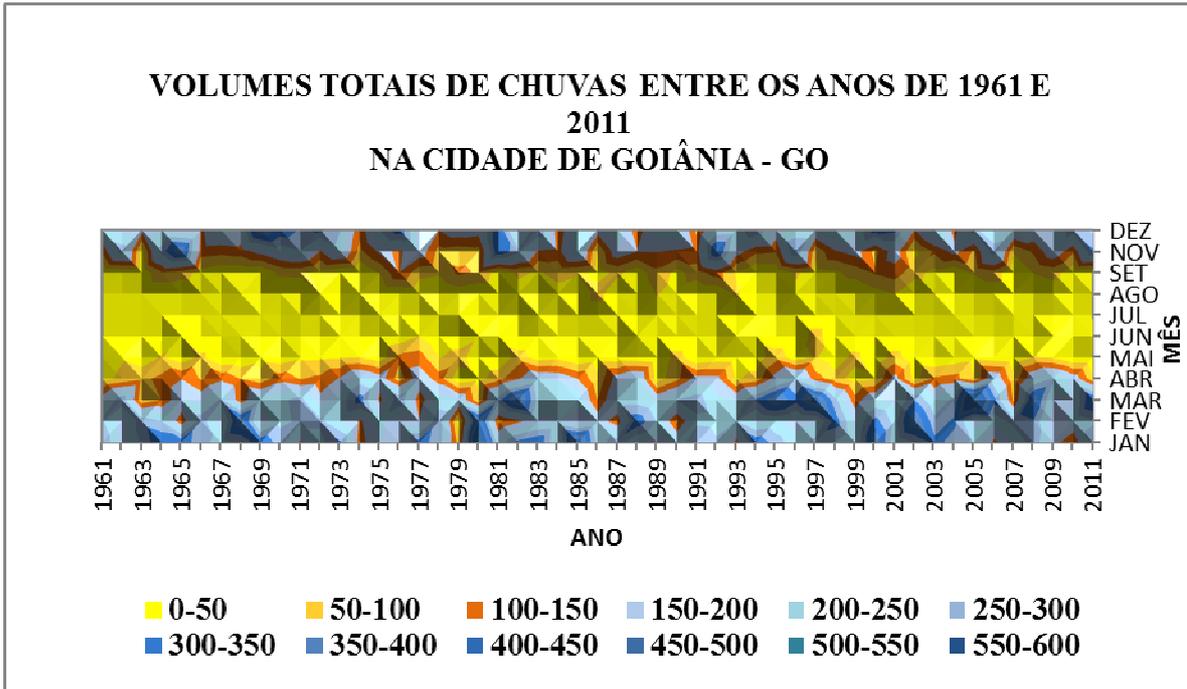


Fonte: O próprio autor com base nos dados fornecidos pelo INMET

O regime de chuvas Goiânia, figura 7, apresenta características similares ao de Brasília-DF. Os meses que apresentam os menores volumes totais de chuvas são junho e julho com predominância de 0mm em todos os anos da série. A pouca diferença entre as duas capitais está que no caso de Goiânia o período chuvoso se inicia no mês de novembro enquanto que em Brasília o período de chuva se inicia em outubro. O maior volume total de chuvas ocorreu no mês de janeiro de 1980 quando se registrou 540,8mm. O subtipo climático de Goiânia é o Aw.

Na região sudeste foi analisado as localidades de Belo Horizonte (MG), São Paulo (SP), cujos dados são oriundos da estação Santana e Cachoeiro de Itapemirim (ES).

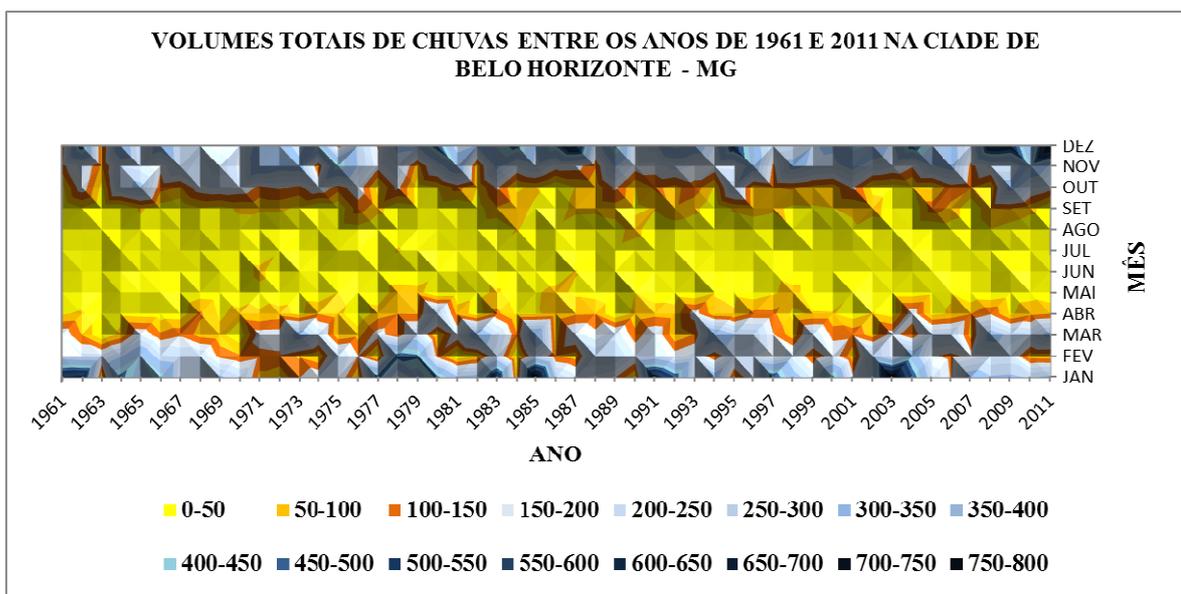
Figura 7 – Gráfico de chuvas da cidade de Goiânia - GO



Fonte: Confeccionado com base nos dados fornecidos pelo INMET

O clima de Belo Horizonte está representado na figura 8. Os períodos que apresentam os menores valores totais de chuvas ficam entre os meses de abril de setembro.

Figura 8 – Gráfico de chuvas de Belo Horizonte



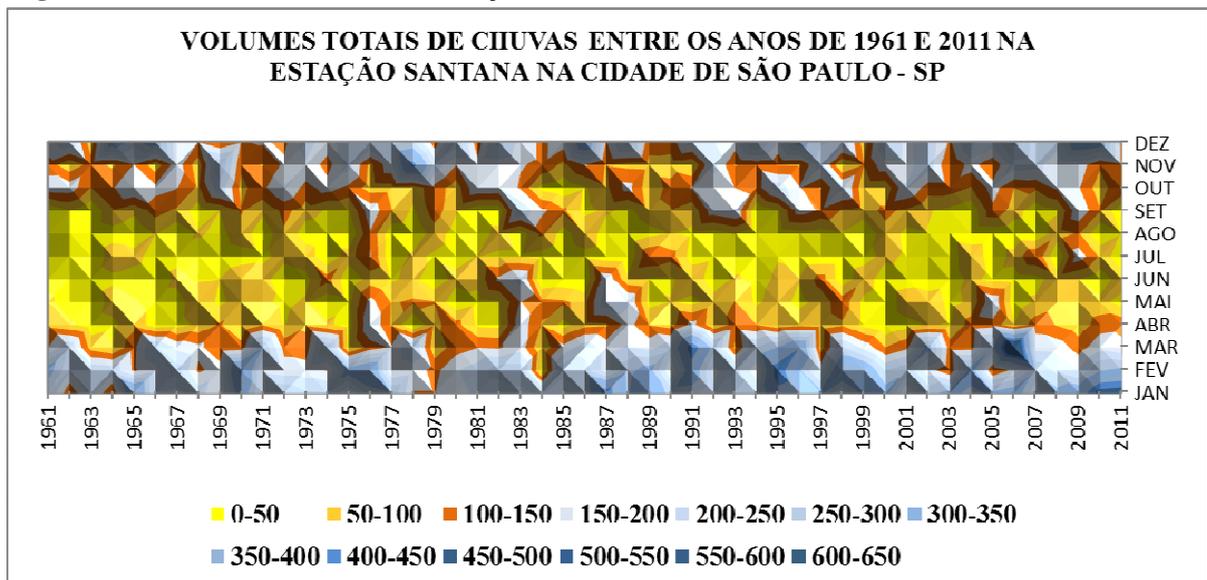
Fonte: Confeccionado com base nos dados fornecidos pelo INMET

E os maiores volumes ficam entre novembro e março, sendo que os maiores volumes se concentram no mês de dezembro. A presença de chuvas intensas no verão

classifica o clima de Belo Horizonte como sendo Cwa. A cidade apresenta ainda grande amplitude pluviométrica com meses secos, entre maio de setembro, com a ocorrência de 0mm de chuvas e meses chuvosos com volumes atingindo 781,6 mm em janeiro de 2003.

A estação de Santana. Localizada cidade de São Paulo, compreende um tipo climático Cfa - subtropical, sem estação seca, conforme pode ser observado no gráfico da figura 9. As apresentam regularidade durante todo o ano. De acordo com os dados do INMET, os períodos que apresentam o menor volume total de chuvas ficam ente os meses de abril e setembro com poucas ocorrências de 0mm. O maior volume de chuvas totais registrado pela série histórica ocorreu no mês de março de 2006, 607,9mm.

Figura 9 – Gráfico de chuvas da estação Santana, São Paulo – SP



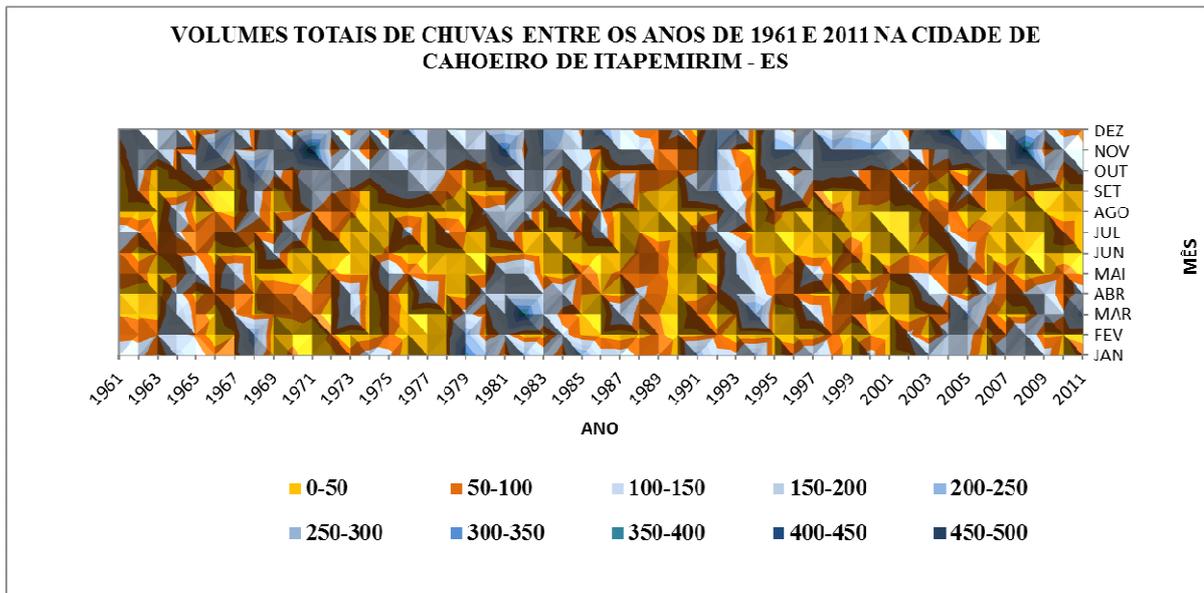
Fonte: Confeccionado com base nos dados fornecidos pelo INMET

As cidades de Vitória e Rio de Janeiro apresentavam grandes lacunas de dados, para substituí-las foi escolhida a cidade de Cachoeiro do Itapemirim. A razão dessa escolha se deu em primeiro por esta cidade se localizar próximo a divisa entre os estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo, podendo assim, representar a região onde se localiza os dois Estados. E em segundo lugar por ser a única próxima ao limite dos dois estados a apresentar dados de chuvas dentro da série histórica, ou seja, entre os anos de 1961 e 2011. Os dados desta estação, ao contrário das outras cidades, foram obtidos junto à Agência Nacional de Águas (ANA).

Cachoeiro de Itapemirim, como se pode observar na figura 10 apresenta uma boa distribuição de chuvas com predominância de altos volumes nos meses de novembro e dezembro. Não há predominância de meses secos. De acordo com os dados do INMET

baixos volumes de chuvas ocorreram em vários meses dos anos da série histórica. O subtipo climático de Cachoeira de Itapemirim é o Am, assim como o de Recife e Belém e o maior volume total de chuvas registrado foi de 472,9mm no mês de novembro de 1971.

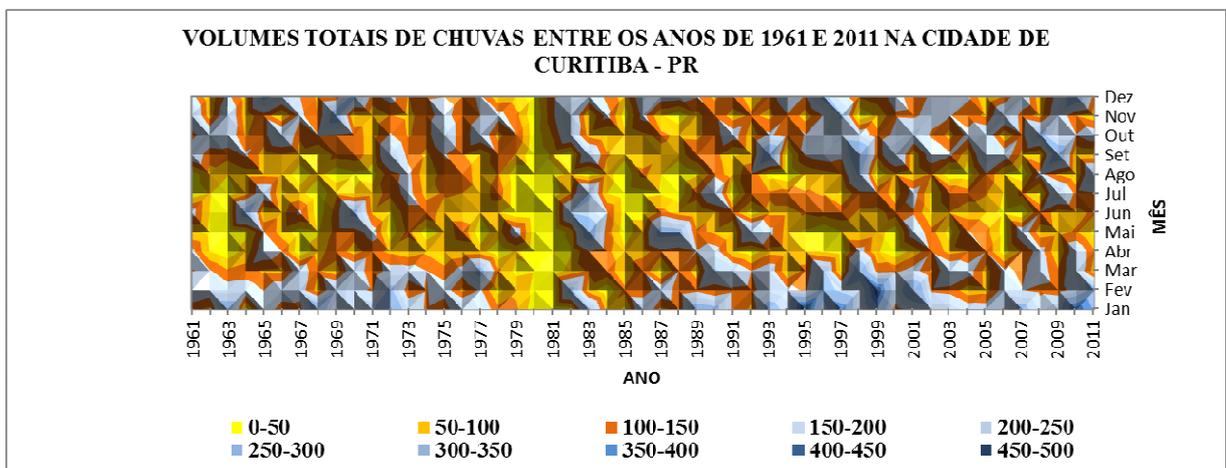
Figura 10 – Gráfico de chuvas da cidade de Cachoeira de Itapemirim



Fonte: Confeccionado com base nos dados fornecidos obtidos junto ao site da ANA

Curitiba e Porto Alegre constituem as cidades selecionadas na região Sul. A cidade de Curitiba, de todas as capitais analisadas, é a que apresentou a série de dados mais completa. Portanto, o preenchimento das falhas não se deu pelo mesmo método aplicado às demais. Os dados que faltavam para Curitiba estão disponíveis no site da ANA e correspondem cujo código da estação é 2549006;

Figura 11 – Gráfico de chuvas de Curitiba - PR



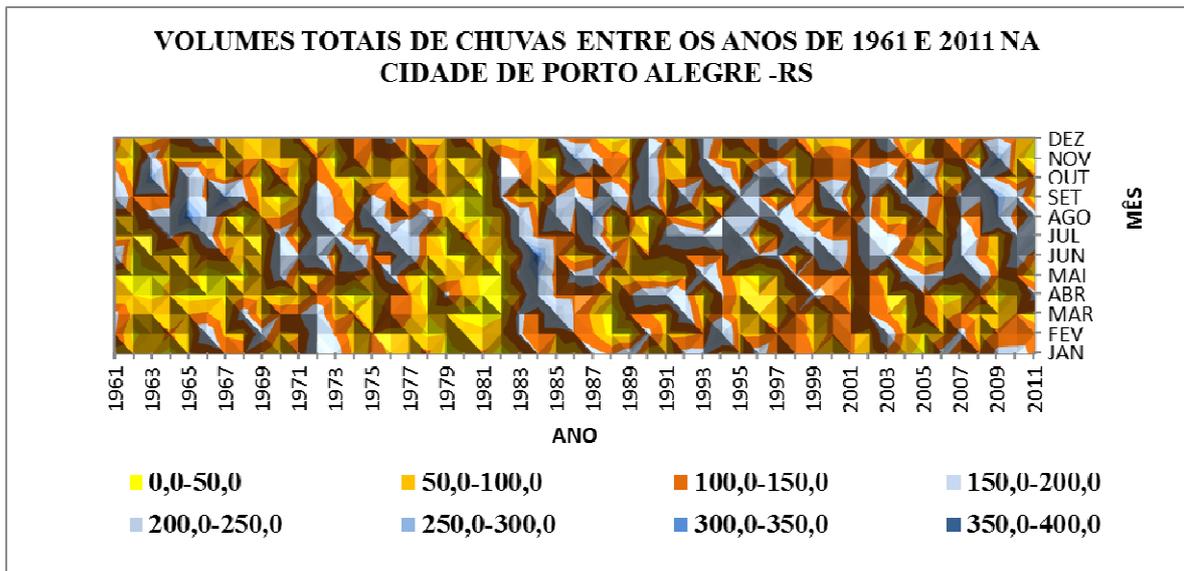
Fonte: Confeccionado com base nos dados fornecidos pelo INMET

Foram comparados os números de ambas as fontes e confirmando os valores, passou-se a mera transcrição dos mesmos e o preenchimento das respectivas falhas.

De acordo com a figura 11 percebe-se que a maioria dos volumes toais mensais de chuva em Curitiba ficam abaixo de 200mm. O clima de Curitiba é classificado como Cfb úmido em todas as estações do ano. Os maiores volumes totais mensais de chuvas foram registrados no mês de janeiro de 1995 e 2010 com volumes de 473,8mm e 436,9mm respectivamente.

A cidade de Porte Alegre, conforme mostra o gráfico da figura 12 apresenta chuvas bem distribuídas no ano todo, sem a presença de períodos secos o que a classifica como subtipo Cfa. De acordo com o gráfico a partir de 1983 os volumes totais de chuvas se situam entre os meses de junho e novembro. Entre os anos de 1979 e 1982 os volumes totais ficaram abaixo de 150mm. Os maiores volumes de chuvas ocorreram em junho de 1984 quando o volume total atingiu 340,1mm e o menor volume 0,5mm ocorreu em abril de 1974

Figura 12 - Gráfico de chuvas de Porto Alegre - RS



Fonte: Confeccionado com base nos dados fornecidos pelo INMET

A sintetização dos dados dos volumes totais de chuvas nos gráficos apresentados demonstram não ter havido variações importantes na sazonalidade do regime de chuvas ao longo dos 51 anos da série permanecendo, assim, inalterados os subtipos climáticos. Sendo assim se o comportamento dos ciclos solares influencia no regime de chuvas esta influência não pôde ser notada através dos gráficos.

No entanto a classificação de Koppen está ligada à variação sazonal e não ao volume das chuvas e como já demonstrado, na parte dedicada à revisão bibliográfica, os ciclos solares influenciam, de maneira indireta, na variação da nebulosidade. É importante ressaltar, que esta variação não significa necessariamente aumento ou diminuição do volume de chuvas, pois, nem toda nuvem evolui para chuva, somente aquelas que são formadas a partir de partículas mais hidrosscópicas, ou seja, aquelas com maior capacidade de atrair vapor d'água. Para completar a série de análise de dados serão apresentados a seguir os ciclos solares ocorridos entre os anos de 1961 e 2011.

5.2 VARIABILIDADE DA OCORRÊNCIA DAS MANCHAS SOLARES

Como já colocado anteriormente o objetivo deste trabalho é correlacionar a variação da atividade solar com o volume de chuvas. Mas antes de chegar aos valores das correlações serão apresentados antes os ciclos solares ocorridos dentro do período histórico analisado.

Os ciclos solares, como já destacado anteriormente, dura, em média, 11 anos. Esse valor pode variar, entre 10,8 anos que daria 130 meses e 11,2 anos que daria um total de 136 meses. A razão disso é que o final de um ciclo pode ocorrer em um mês no meio do ciclo. Sendo assim, para facilitar a análise os ciclos serão contados em meses e não em anos.

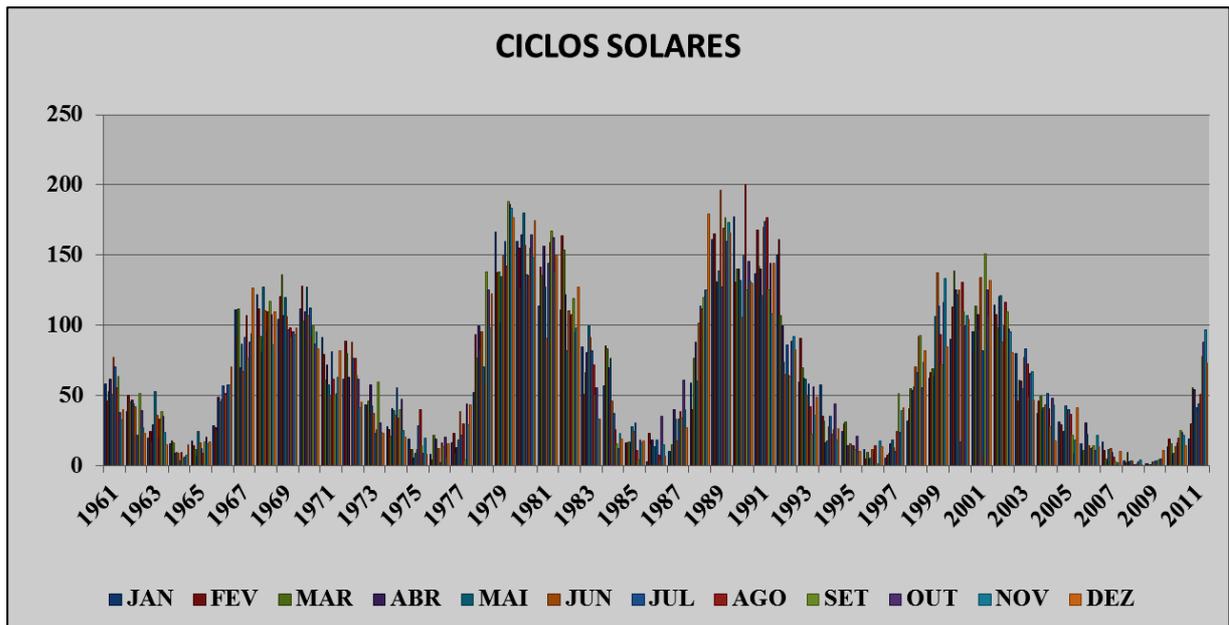
A periodicidade dos ciclos pode ser observada na figura 12. No período compreendido entre 1961 e 2011 ocorreram quatro ciclos completos e dois ciclos parciais. No período entre 1961 e 1964 se encontra a fase final do ciclo 19 e no período entre 2009 a 2011 se encontra o início do ciclo 24.

Segundo informações disponíveis no site do NGDC (2012) as manchas solares se formam em grupos na superfície do Sol, o que torna difícil sua contagem individual, assim em 1848 Rudolf Wolf criou um método que possibilitou calcular o número de manchas cuja fórmula é $SN=(10G + N) \times k$. O resultado é um valor conhecido como Índice de Manchas Solares. Portanto os dados utilizados neste trabalho, disponibilizados pelo NGDC, são índices e não números ou quantidades de manchas propriamente ditas.

Atualmente esse índice é calculado por vários observatórios virtuais membros do International Virtual Observatory Alliance (IVOA), presentes em vários países. Posteriormente esses

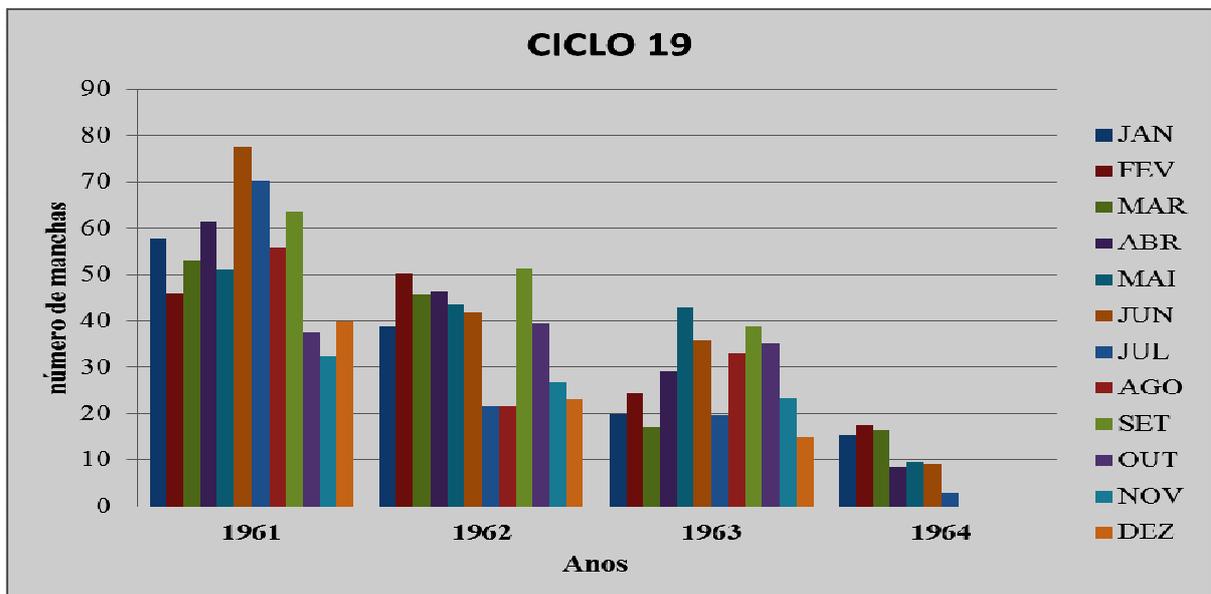
índices são enviados para o Solar Influences Data Analysis Center (SIDC), localizado no Observatório Real da Bélgica. Os países membros do IVOA são: Argentina, Armênia, Reino Unido, Austrália, Brasil, China, Canadá, Alemanha, Hungria, Japão, Estados Unidos, França, Rússia, Espanha, Ucrânia, Itália, Índia, além da Agência Espacial Europeia. Vale a pena esclarecer que o índice mínimo que marca o final de um ciclo solar marca também o início do ciclo seguinte.

Figura 13 – Gráfico das ocorrências dos ciclos solares ente os anos de 1961 e 2011



Fonte: Próprio autor

Figura 14 – Gráfico do final do ciclo solar número 19

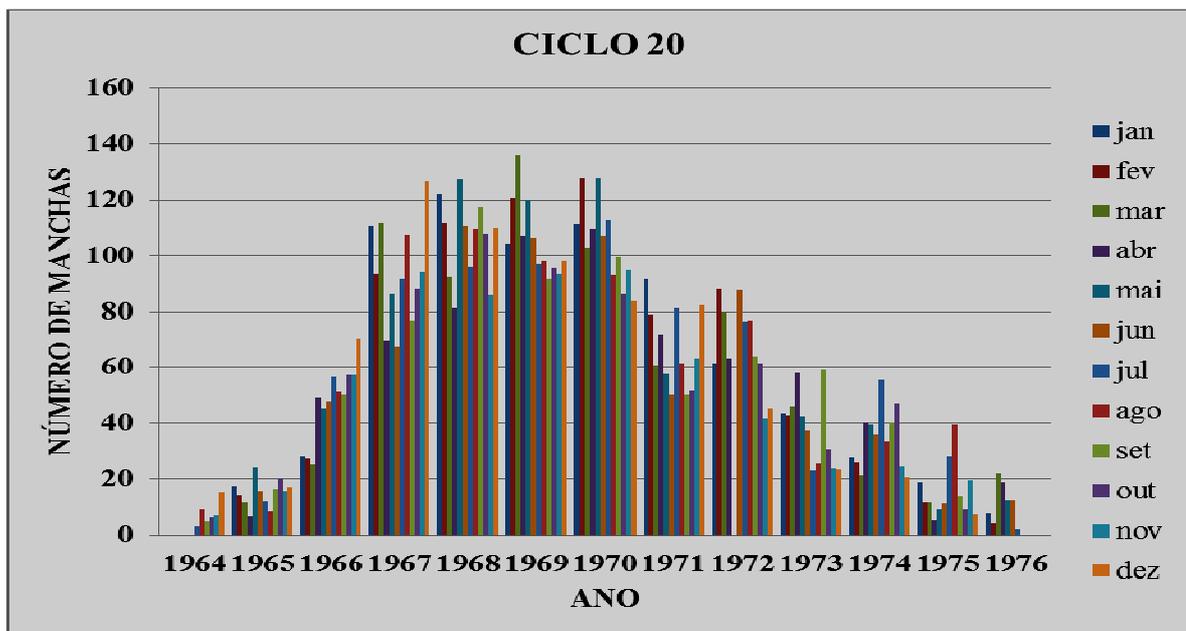


Fonte: O próprio autor

De acordo com Penereiro et al (s/d) o ciclo 19 inicia no ano de 1954 e termina oficialmente em julho de 1964. A figura 14 apresenta a parte final do ciclo 19. Este ciclo é considerado pelos especialistas como um período de alta atividade solar tendo seu pico em dezembro de 1957, quando o índice calculado chegou a 239,4 manchas. Como os valores dos volumes totais de chuvas enviados pelos INMET se iniciam em janeiro de 1961, sendo assim, para se proceder ao cálculo da correlação, serão adotados os índices solares a partir do mesmo mês e ano.

O ciclo 20, figura 15, se inicia em julho de 1964 e encerra em julho de 1976 e apresenta duração de 144 meses. O índice máximo alcançado neste ciclo foi 135 e ocorreu em março de 1969.

Figura 15 - Gráfico do ciclo solar número 20

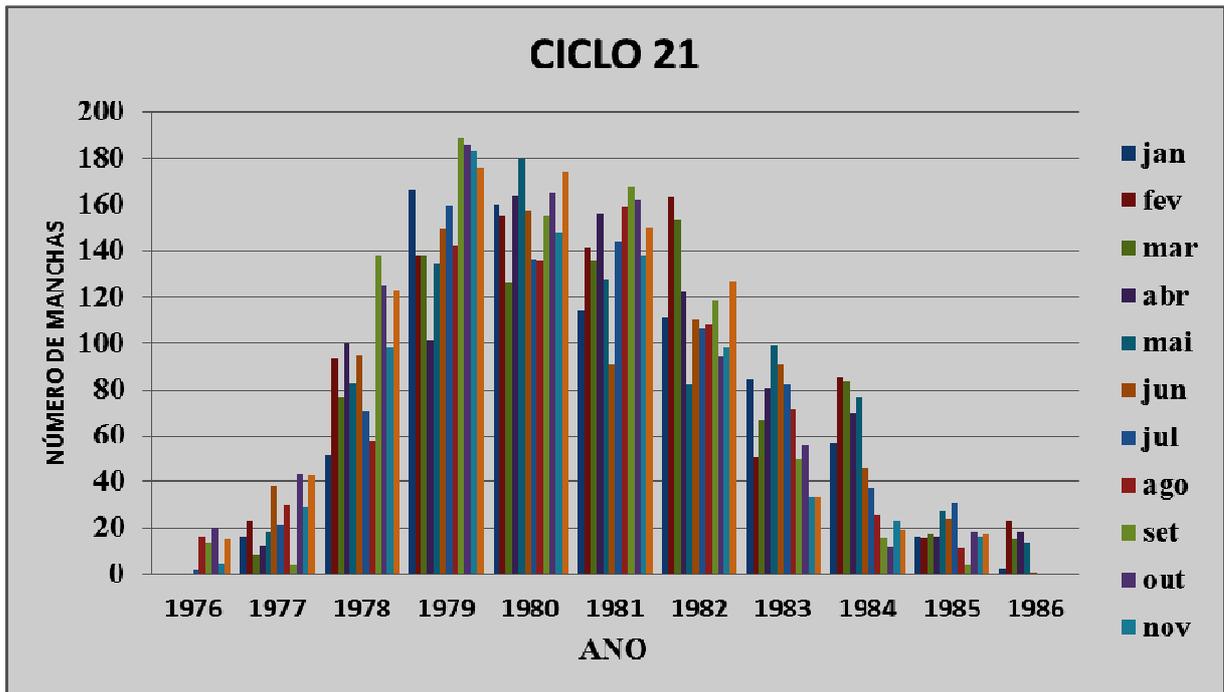


Fonte: Próprio autor

O ciclo 21, figura 16, inicia em julho de 1976 e encerra em junho de 1986. O índice mínimo que marca o início deste é de 1,9, ou seja, o mesmo índice que marca o fim do ciclo 20. Enquanto que o índice que marca o final do ciclo 21 é de 1,1.

O índice maior que marca o pico e encerra a fase ascendente deste ciclo ocorre em setembro de 1979, cujo valor foi de 188,4. Destaca-se que este valor é considerado pico, pois os valores que o sucederam foram menores. O ciclo 21, assim como o anterior, teve uma duração de 145 meses

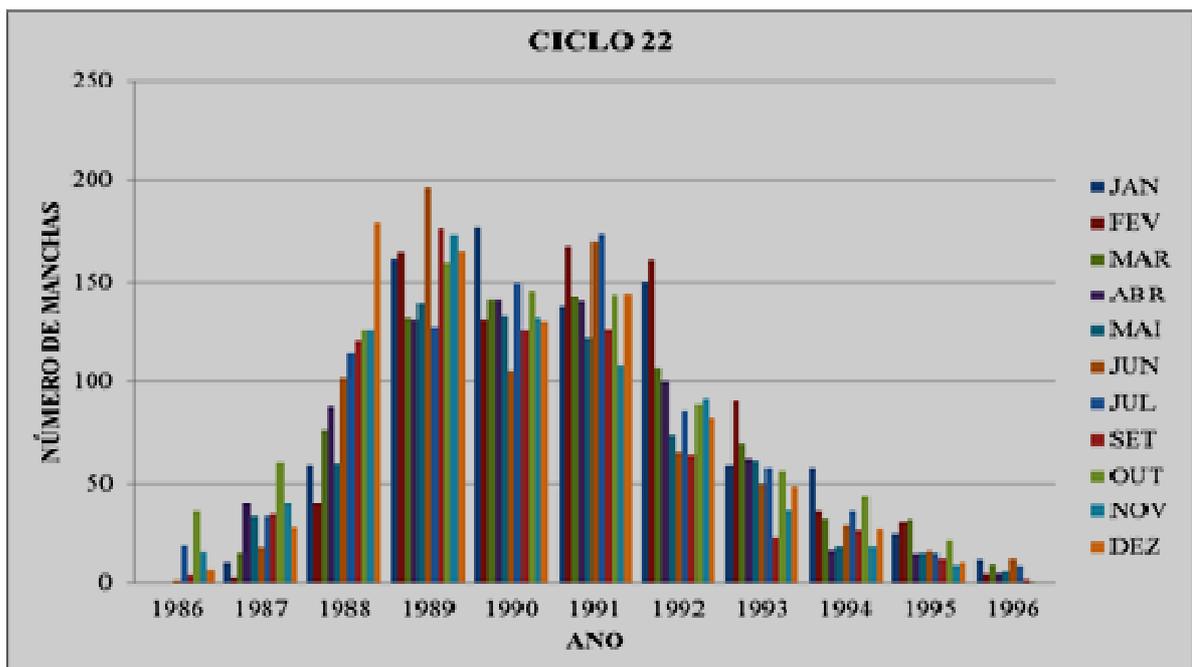
Figura 16 – Gráfico do ciclo solar número 21



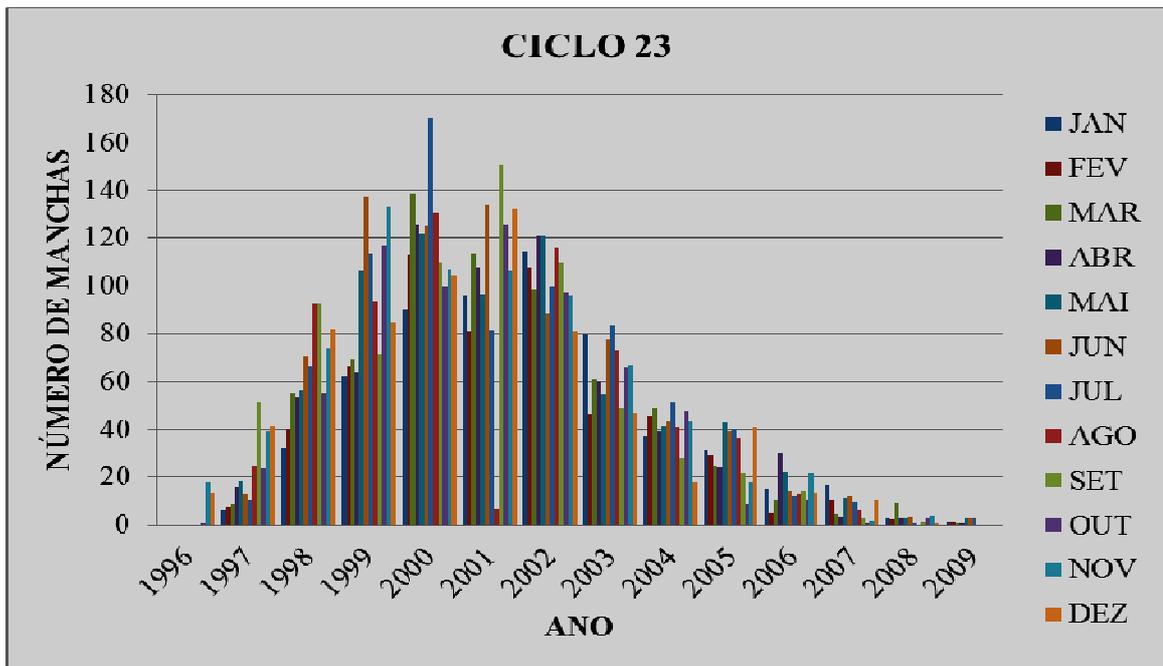
Fonte: O próprio autor

O ciclo 22 inicia em junho de 1986 e encerra em outubro de 1996, com índice de 0,9. O pico do ciclo ocorreu em agosto de 1990, quando o índice alcançou o valor de 200,3. A duração total desse ciclo foi de 125 meses

Figura 17 – Gráfico do ciclo solar número 22



Fonte: Próprio autor

Figura 18 – Gráfico do ciclo solar número 23

Fonte: O próprio autor

O ciclo de maior duração da série analisada foi o de número 23 com 155 meses, ou seja, quase 13 anos. Seu início ocorreu em outubro de 1996 e seu encerramento foi em agosto de 2009, com índice zero. A fase descendente deste ciclo durou 109 meses contra 46 meses da fase ascendente, quando atingiu o índice máximo de 170,1.

5.3 APRESENTAÇÃO DA ANÁLISE DOS RESULTADOS DA CORRELAÇÃO

Neste tópico serão apresentados os resultados das correlações feitas entre os valores totais anuais, ou seja, da soma dos valores de janeiro a dezembro de cada ano da série temporal de índices solares e chuvas.

A partir da aplicação do teste estatístico da correlação de Pearson, inicialmente foram correlacionados os volumes totais anuais de chuvas considerando o período total de 51 anos.

Os índices solares foram organizados na primeira coluna e considerados como variáveis determinantes (Y) e os volumes totais anuais de chuvas, organizados na segunda coluna, como dependente (X). A tabela 4 apresenta os resultados da correlação.

Tabela 5 – Correlação considerando período de 51 anos

CIDADE	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO
Belém	- 0,302	Correlação fraca e inversamente proporcional
Belo Horizonte	- 0,104	Correlação fraca e inversamente proporcional
Brasília¹⁰	+ 0,148	Correlação fraca e diretamente proporcional
Curitiba	- 0,299	Correlação fraca e inversamente proporcional
Cachoeiro de Itapemirim	+ 0,013	Correlação fraca e diretamente proporcional
Porto Alegre	- 0,440	Correlação moderada e inversamente proporcional
Goiânia	- 0,187	Correlação fraca e inversamente proporcional
São Paulo (estação Santana)	- 0,207	Correlação fraca e inversamente proporcional
Recife	- 0,114	Correlação fraca e inversamente proporcional
Manaus	- 0,245	Correlação fraca e inversamente proporcional

Fonte: O próprio autor

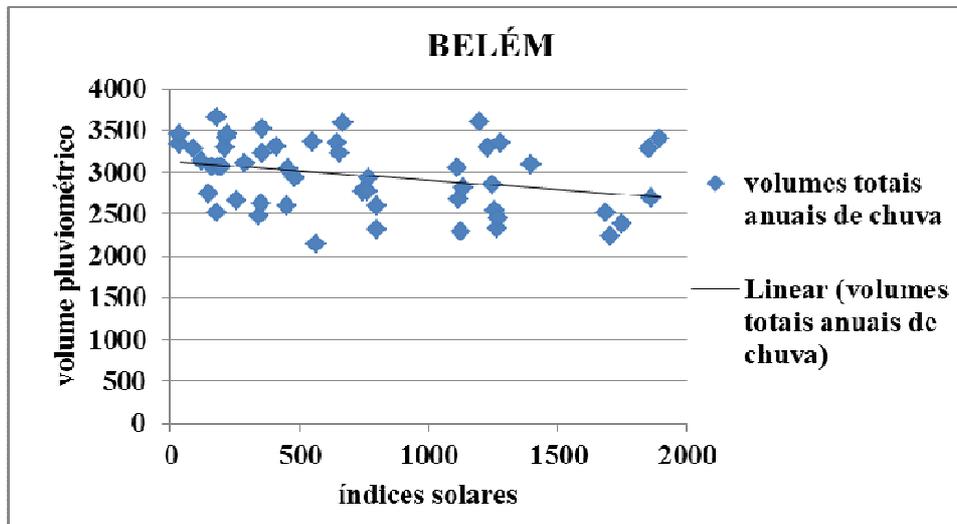
Quando o coeficiente de correlação apresenta valores negativos é indicação de uma correlação inversa, ou seja, quando há o aumento do índice solar, o que indica aumento da atividade solar, há diminuição do volume de chuvas. De outro modo quando o coeficiente de correlação apresenta valores positivos é indicação de uma relação direta entre as variáveis, quando um aumenta a outra aumenta também. Desta forma somente as cidades de Brasília e Cachoeiro de Itapemirim apresentaram coeficiente positivos, indicando correlação direta. Quanto às outras cidades o coeficiente se apresenta negativo.

Outro ponto a ser considerado diz respeito aos valores dos coeficientes. Coeficientes de correlação 0 e 0,30 indicam correlação fraca; entre 0,30 e 0,70 correlação moderada e acima de 0,70 correlação forte. Como se pode notar na tabela, 4 com exceção de Porto Alegre, que apresenta coeficiente moderado, as outras apresentam coeficientes fracos com destaque para Cachoeira de Itapemirim que apresenta um coeficiente tão baixo sugerindo não haver correlação entre as variáveis.

Para melhor elucidar os resultados são apresentados a seguir os gráficos de dispersão elaborados a partir da correlação entre as variáveis índices solares e volume pluviométricos da série histórica de 51 anos.

¹⁰ Conforme mencionado anteriormente a cidade de Brasília a série é de 50 anos.

Figura 19 – Gráfico de dispersão com base nas correlações entre as variáveis índices solares e volumes anuais totais de chuvas entre os anos de 1961 e 2011



Fonte: O próprio autor

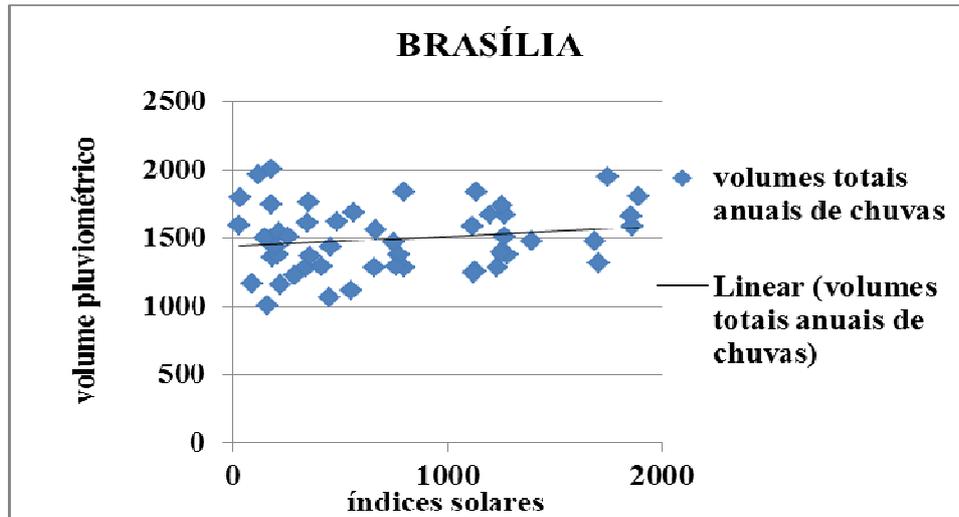
A cidade de Belém apresentou coeficiente de correlação (-0,302). Este coeficiente indica uma relação moderada e inversa entre as variáveis. De acordo com o que é indicado na figura 19, há uma concentração maior de chuvas até, aproximadamente, metade do intervalo entre o índice solar 500 e 1000. Essa concentração vai diminuindo conforme ocorre o aumento do índice solar o que é confirmado pela reta de tendência

Brasília apresenta comportamento diferente de Belém. O coeficiente de correlação da cidade, de acordo com a tabela 4, é de (+0,148) indicando uma correlação fraca e direta. As chuvas se concentram, na maior parte, abaixo do índice 1000, porém, ao contrário do que ocorre com a cidade de Belém a reta de tendência se mostra na posição ascendente indicando aumento do volume de chuvas conforme ocorre o aumento da atividade solar., figura 20.

Este comportamento apresentado pelos dados de Brasília, juntamente com a cidade de Cachoeiro do Itapemirm, conforme se verá mais adiante, é diferente de todas as outras cidades analisadas. Seria necessária uma investigação mais aprofundada, no intuito de elucidar o porque deste comportamento diferente.

Esta investigação não será feita aqui, dado que o objetivo deste trabalho, por ora, é somente determinar os coeficientes de correlação, ou seja, se está ainda no início, na base das investigações. Porém no futuro, seria necessário investigar como ocorrem as chuvas nestas cidades, de onde vem a umidade, quais massas atmosféricas atuam nesta região do país, entre outras variáveis climatológicas.

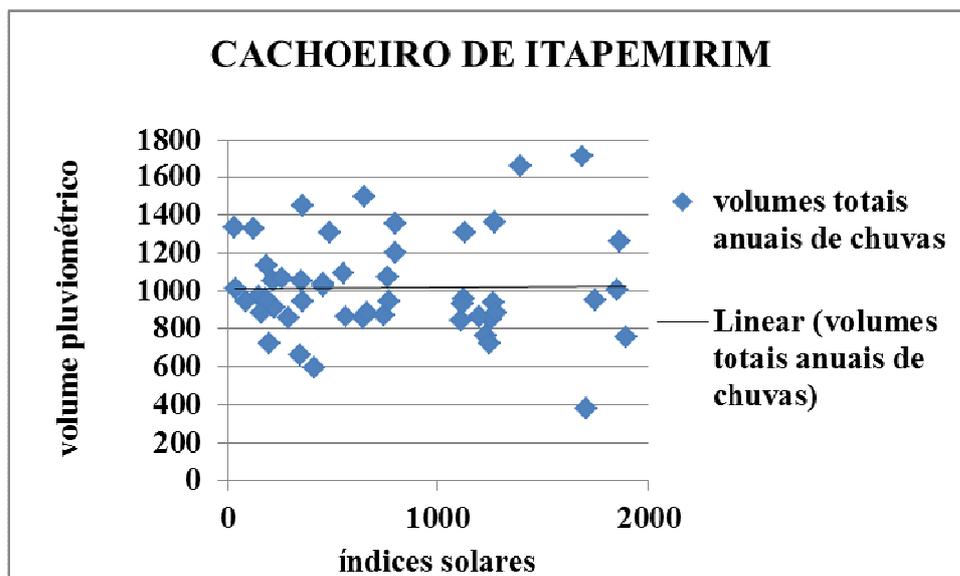
Figura 20 - Gráfico de dispersão com base nas correlações entre as variáveis índices solares e volumes anuais totais de chuvas entre os anos de 1961 e 2011



Fonte: O próprio autor

Cachoeiro de Itapemirim apresentou coeficiente de correlação tão baixo (+0,013) permitindo se concluir não haver nenhuma correlação entre as variáveis. A figura 21 sintetiza o que é dado pelo coeficiente demonstrando uma reta de tendência praticamente paralela ao eixo dos índices solares. Porém como acontece com outras cidades há grande concentração de volumes de chuvas até o índice 1000, diminuindo esta concentração na medida que os índices aumentam.

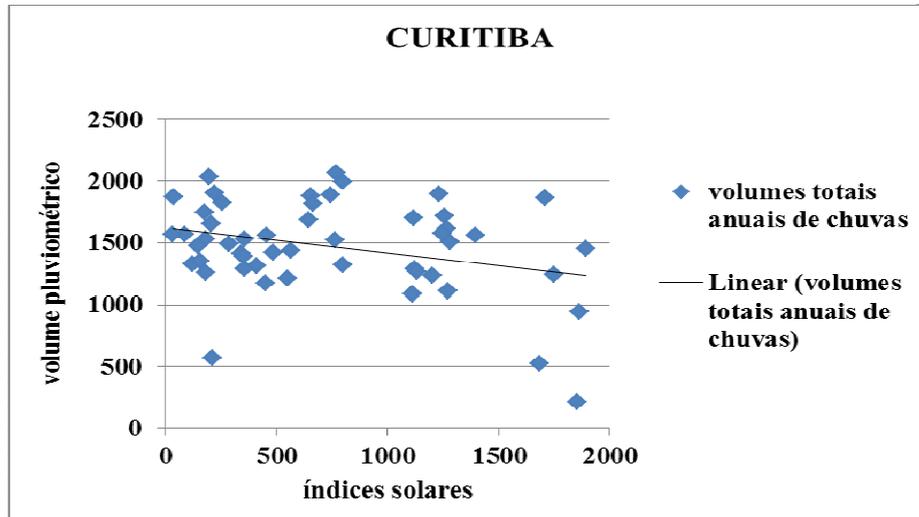
Figura 21 Gráfico de dispersão com base nas correlações entre as variáveis índices solares e volumes anuais totais de chuvas entre os anos de 1961 e 2011



Fonte: O próprio autor

Para a cidade de Curitiba, fig.22, o coeficiente de correlação foi $(-0,299)$, ou seja, correlação fraca e inversa sugerindo a concentração maior de chuvas durante os períodos de menor atividade solar.

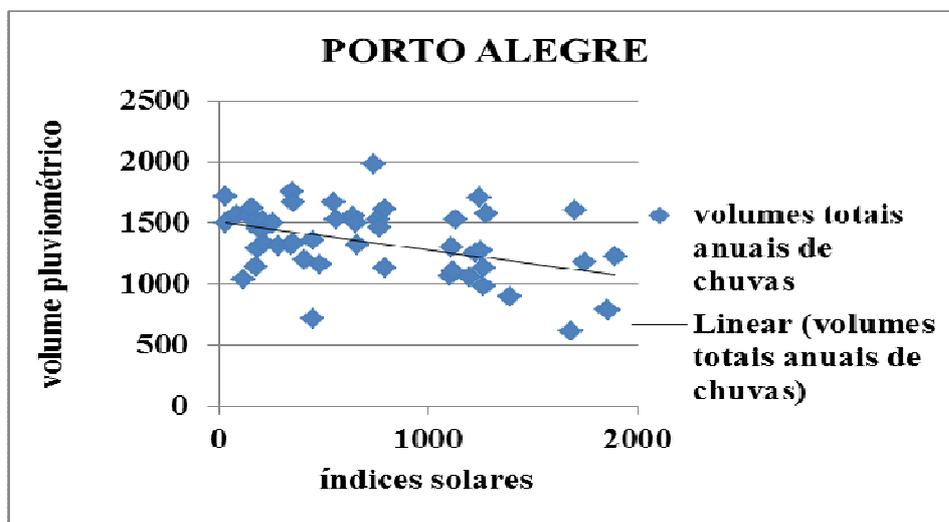
Figura 22 Gráfico de dispersão com base nas correlações entre as variáveis índices solares e volumes anuais totais de chuvas entre os anos de 1961 e 2011



Fonte: O próprio autor.

A cidade de Porto Alegre, de todas as analisadas, é a que apresenta o maior coeficiente de correlação $(-0,440)$ que, como Belém, indica uma correlação moderada e inversa. Como é possível observar na figura 23, há maior concentração de chuvas no índice solar abaixo de 1000 e a reta de tendência indica a diminuição da ocorrência de chuvas conforme aumento da atividade solar.

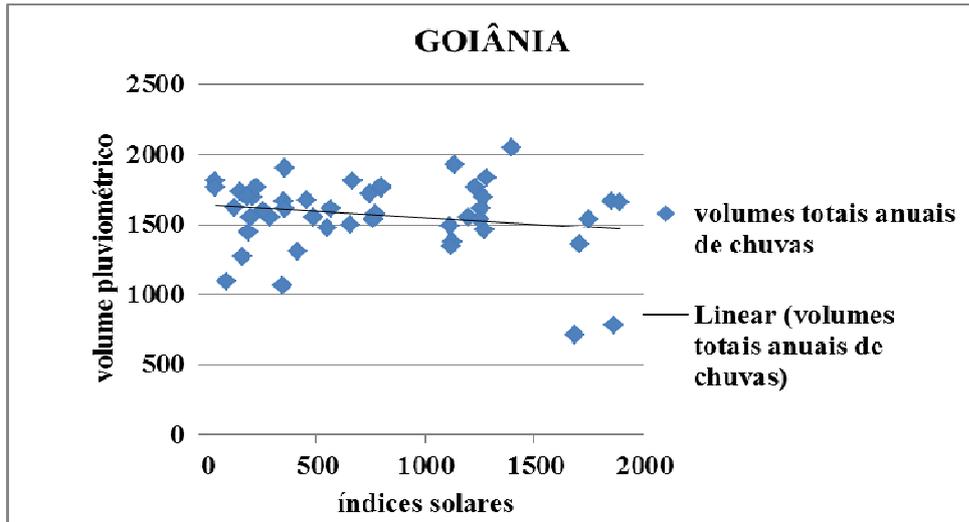
Figura 23 Gráfico de dispersão com base nas correlações entre as variáveis índices solares e volumes anuais totais de chuvas entre os anos de 1961 e 2011



Fonte: o próprio autor

A figura 24 apresenta o comportamento da correlação entre volume de chuvas e atividade solar na cidade de Goiânia. O coeficiente de correlação para esta cidade foi (-0,187) fraco e diferentemente do de Brasília inverso. Apesar de a distância entre as duas cidades ser de 200km e terem a mesma classificação climática. A reta de tendência aponta a diminuição das chuvas conforme aumenta a atividade solar.

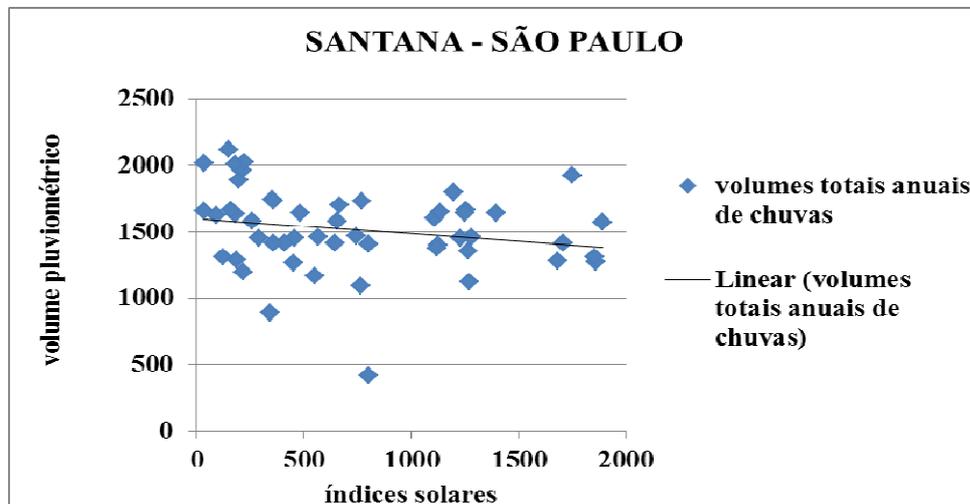
Figura 24 Gráfico de dispersão com base nas correlações entre as variáveis índices solares e volumes anuais totais de chuvas entre os anos de 1961 e 2011



Fonte: O próprio autor

O coeficiente de correlação da cidade de São Paulo é (-0,207) o que significa correlação fraca e inversa. De acordo com a figura 25 as maiores concentrações de chuvas ocorrem nos períodos de baixa atividade solar e, como acontece na maioria das cidades analisadas a reta de tendência se apresenta descendente, sugerindo diminuição das chuvas conforme aumenta a atividade solar.

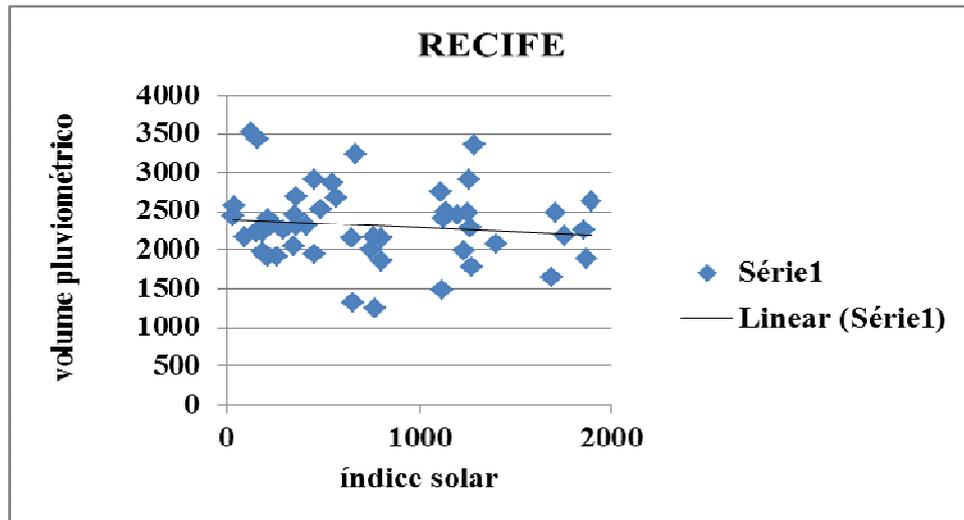
Figura 25 Gráfico de dispersão com base nas correlações entre as variáveis índices solares e volumes anuais totais de chuvas entre os anos de 1961 e 2011



Fonte: O próprio autor

A cidade de Recife é a única representante da região nordeste. O coeficiente de correlação foi (-0,114) o que sugere uma correlação fraca e inversa. A reta de tendência, como se vê na figura 26, indica diminuição da ocorrência de chuvas conforme há o aumento da atividade solar.

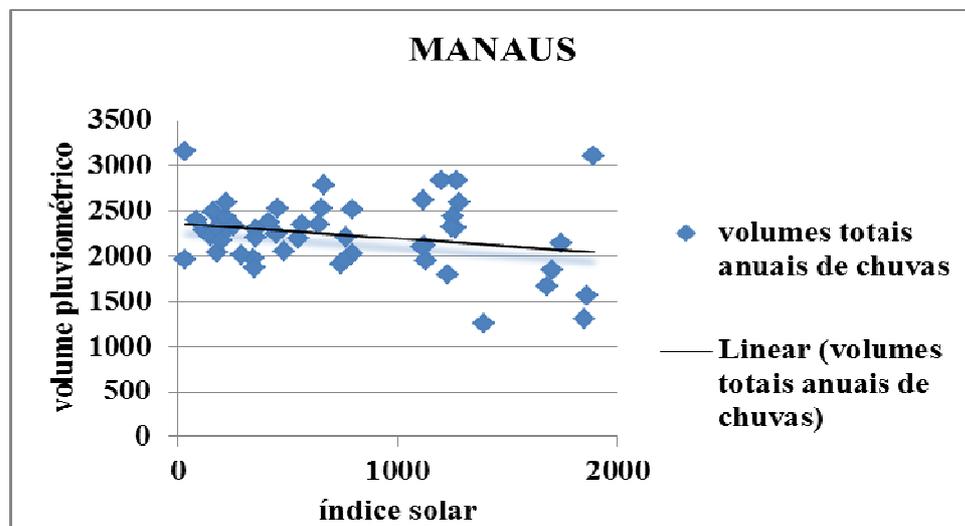
Figura 26 Gráfico de dispersão com base nas correlações entre as variáveis índices solares e volumes anuais totais de chuvas entre os anos de 1961 e 2011



Fonte: O próprio autor

A última cidade a ser analisada é Manaus, situada na região Norte do Brasil assim como Belém. O coeficiente de correlação foi (-0,245). A reta de tendência, figura 27, assim como ocorreu em outras cidades sugere diminuição da ocorrência de chuvas conforme há aumento da atividade solar.

Figura 27 – Gráfico de dispersão com base nas correlações entre as variáveis índices solares e volumes anuais totais de chuvas entre os anos de 1961 e 2011



Fonte: O próprio autor

Após testar esta primeira correlação, enfocando toda a série histórica de 51 anos procedeu-se um novo teste visando buscar o coeficiente de correlação dos índices solares e volumes totais anuais de chuvas ciclo a ciclo. Os resultados estão resumidos na tabela 5.

Quadro 1 Índice de correlação e classificação considerando cada ciclo solar

CIDADES	VALOR DE CORRELAÇÃO						VALOR DE CORRELAÇÃO SÉRIE HISTÓRICA DE 51 ANOS
	CICLOS						
	19	20	21	22	23	24	
BELÉM	0,438	0,075	0,310	0,247	0,202	0,814	-0,302
BELO HORIZONTE	0,50	0,229	0,353	0,357	0,211	0,938	-0,104
BRASÍLIA	0,687	0,433	0,740	0,696	0,118	0,830	0,148
CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM	0,248	0,505	0,626	-0,106	-0,055	0,937	0,013
CURITIBA	0,882	-0,004	-0,138	0,211	0,505	0,505	-0,299
GOIÂNIA	0,869	0,511	0,367	0,307	0,430	0,879	-0,187
MANAUS	0,971	0,576	-0,109	0,400	0,233	0,863	-0,245
PORTO ALEGRE	0,741	0,042	-0,419	-0,064	0,477	0,295	-0,440
RECIFE	-0,568	0,385	0,052	0,399	0,336	0,980	-0,114
SÃO PAULO	0,974	0,218	0,339	0,269	0,108	0,510	-0,207
LEGENDA							
SINAL				CLASS. DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO			
(-) – Relação inversa (+) – Relação direta				De 0 a 30: correlação fraca De 30 a 70: correlação moderada Acima de 70: correlação forte			

Fonte: o próprio autor

Para se proceder aos testes foram respeitados o início e o final de cada ciclo. Como demonstrados no tópico 4,2 os ciclos solares tem seu início e final em algum mês do ano como, por exemplo, ocorreu com o ciclo 20. Este ciclo teve seu início em julho de 1964 e

seu término em julho de 1976. Portanto para se proceder aos testes de correlação foram adotados os valores dos volumes de chuvas dos mesmos meses e assim foi feito com todas as cidades.

As análises comparativas serão feitas somente com os ciclos completos, 20, 21, 22 e 23. A razão disso é proceder com a maior isenção possível tendo em vista que estes ciclos estão parcialmente presentes oferecendo uma quantidade de dados muito pequena. Após esses esclarecimentos se passará a analisar os resultados sintetizados na tabela 5.

Verifica-se que os índices de correlação apresentaram mudanças significativas. Enquanto que na série passada os índices se apresentaram majoritariamente inversamente proporcionais e de correlação fraca, nesta correlação dos ciclos em separado apresenta valores com menos coeficientes negativos e predominância da relação diretamente proporcional.

Na cidade de Belém todos os coeficientes apresentam uma relação direta. É possível perceber também que o coeficiente é fraco no ciclo 20 e se eleva no ciclo 21 e posteriormente diminuindo nos ciclos 22 e 23. A cidade de Belo Horizonte apresenta comportamento semelhante a cidade de Belém com diferença com os coeficientes aumentam até o ciclo 22 e diminuem no ciclo 23.

Os coeficientes de Brasília apresentam mudanças bem acentuadas nos coeficientes. Sai de uma correlação fraca, apontada na série de 51 anos para uma correlação moderada e forte no ciclo 21 e 22. Há também uma tendência de aumento dos coeficientes até o ciclo 22 e posterior queda.

Cachoeiro do Itapemirim foi a cidade que apresentou o índice de correlação mais baixo. Na correlação ciclo a ciclo também apresenta um comportamento variado. Assim como ocorreu com os coeficientes em Belém os valores aumentam até o ciclo 21 para diminuem nos ciclo 22 e 23 chegando inverter o sinal do coeficiente. Os valores dos coeficientes de Curitiba aumentam até o ciclo 23 e apresentaram alternâncias quanto ao sinal do coeficiente.

Os coeficientes de Goiânia apresentaram em todos os ciclos sinal diferente do apresentado da série de 51 anos. Ao contrário do que ocorreu com as cidades analisadas até aqui o maior valor está presente no ciclo 20, decrescendo no 21 e 22 e voltando a subir no ciclo 23. Em Manaus o maior valor ocorreu no ciclo 20, apresentando uma relação inversa no ciclo 21, voltando a crescer no ciclo 22 e apresentando nova queda no ciclo 23.

Porto Alegre foi a cidade que apresentou o maior coeficiente de correlação da série de 51 anos. No teste ciclo a ciclo a cidade apresentou grande alternância de valores de

coeficientes e sinais. A cidade de Recife que havia apresentado uma correlação fraca e inversa na série histórica, exibiu mudanças durante os ciclos onde os coeficientes expõem alternâncias entre correlações fracas e moderadas.

Por último a cidade de São Paulo também apresentou coeficientes de correlação ciclo a ciclo diferentes do coeficiente da série de 51 anos. Enquanto que na série de 51 anos o sinal é negativo indicando relação inversa, os coeficientes nos ciclos apresentam relação direta com comportamento ascendente no ciclo 21 e de diminuição nos ciclos seguintes.

Diante desse comportamento variado dos coeficientes de correlação é difícil determinar se há ou não uma correlação entre as variáveis. Isso porque num período os coeficientes indicam correlação fraca ou nenhuma, em outro os coeficientes sugerem outras interpretações.

A questão é: quando essa correlação começa a mudar? Em que ponto da série os coeficientes apresentam aumento ou decréscimo? Para tentar elucidar estes pontos foram feitos testes na série de 51 anos buscando identificar o comportamento dos coeficientes de correlação ao longo da série histórica, sintetizados nos quadros 1, 2, 3, e 4.

Quadro 2 – Coeficientes de correlação entre 1961 e 2011 da cidade de Belém - PA

	ANOS	COEF.	ID	ANOS	COEF.
1	1961 a 1962	1	26	1961 a 1987	-0,21946647
2	1961 a 1963	0,973429109	27	1961 a 1988	-0,14286681
3	1961 a 1964	0,19996369	28	1961 a 1989	-0,03424658
4	1961 a 1965	0,347993315	29	1961 a 1990	-0,10730859
5	1961 a 1966	-0,00833184	30	1961 a 1991	-0,15429004
6	1961 a 1967	-0,29789105	31	1961 a 1992	-0,15424781
7	1961 a 1968	-0,33060814	32	1961 a 1993	-0,16274398
8	1961 a 1969	-0,39975879	33	1961 a 1994	-0,18317693
9	1961 a 1970	-0,37902183	34	1961 a 1995	-0,21082998
10	1961 a 1971	-0,37761208	35	1961 a 1996	-0,24344066
11	1961 a 1972	-0,37115502	36	1961 a 1997	-0,22632967
12	1961 a 1973	-0,40658627	37	1961 a 1998	-0,22646612

Fonte: O próprio autor

Quadro 3 – Coeficiente de correlação entre 1961 e 2011 da cidade de Belém-PA (continuação)

13	1961 a 1974	-0,44459239	38	1961 a 1999	-0,23170828
14	1961 a 1975	-0,48983973	39	1961 a 2000	-0,20075412
15	1961 a 1976	-0,47510455	40	1961 a 2001	-0,17825981
16	1961 a 1977	-0,50110297	41	1961 a 2002	-0,17856841
17	1961 a 1978	-0,41007441	42	1961 a 2003	-0,177357
18	1961 a 1979	-0,35879951	43	1961 a 2004	-0,17847652
19	1961 a 1980	-0,14464715	44	1961 a 2005	-0,20259856
20	1961 a 1981	-0,18939491	45	1961 a 2006	-0,23872112
21	1961 a 1982	-0,13785412	46	1961 a 2007	-0,25706769
22	1961 a 1983	-0,13033261	47	1961 a 2008	-0,27783463
23	1961 a 1984	-0,15613349	48	1961 a 2009	-0,30256059
24	1961 a 1985	-0,21486398	49	1961 a 2010	-0,30510367
25	1961 a 1986	-0,23661456	50	1961 a 2011	-0,30221585

Fonte: O próprio autor

Quadro 4 – Coeficiente de correlação entre 1961 e 2011 da cidade de Brasília - DF

ID	ANOS	COEF.	ID	ANOS	COEF.
1	1961 a 1962	-1	26	1961 a 1987	0,14138
2	1961 a 1963	-0,9829	27	1961 a 1988	0,157776
3	1961 a 1964	-0,98431	28	1961 a 1989	0,211797
4	1961 a 1965	-0,9849	29	1961 a 1990	0,18367
5	1961 a 1966	-0,7707	30	1961 a 1991	0,238428
6	1961 a 1967	-0,47297	31	1961 a 1992	0,248236
7	1961 a 1968	-0,22327	32	1961 a 1993	0,252704
8	1961 a 1969	-0,15498	33	1961 a 1994	0,257013
9	1961 a 1970	-0,06151	34	1961 a 1995	0,260524
10	1961 a 1971	-0,04806	35	1961 a 1996	0,279341
11	1961 a 1972	-0,048	36	1961 a 1997	0,271621

Fonte: Próprio autor

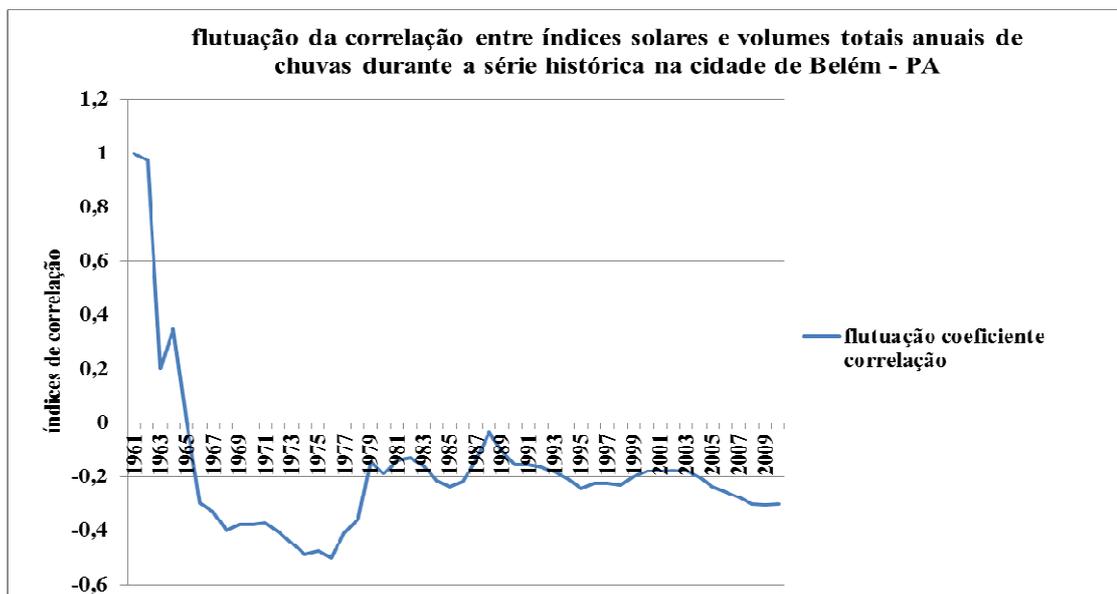
Quadro 5 Coeficiente de correlação entre 1961 e 2011 da cidade de Brasília – DF (continuação)

12	1961 a 1973	-0,04438	37	1961 a 1998	0,271743
13	1961 a 1974	-0,02497	38	1961 a 1999	0,259912
14	1961 a 1975	-0,00721	39	1961 a 2000	0,252922
15	1961 a 1976	-0,01726	40	1961 a 2001	0,241766
16	1961 a 1977	0,007566	41	1961 a 2002	0,237071
17	1961 a 1978	0,030759	42	1961 a 2003	0,237945
18	1961 a 1979	0,069696	43	1961 a 2004	0,227824
19	1961 a 1980	0,116541	44	1961 a 2005	0,204556
20	1961 a 1981	0,11213	45	1961 a 2006	0,176304
21	1961 a 1982	0,11142	46	1961 a 2007	0,196595
22	1961 a 1983	0,111867	47	1961 a 2008	0,180129
23	1961 a 1984	0,127864	48	1961 a 2009	0,146274
24	1961 a 1985	0,112693	49	1961 a 2010	0,146654
25	1961 a 1986	0,157922	50	1961 a 2011	0,145562

Fonte: O próprio autor

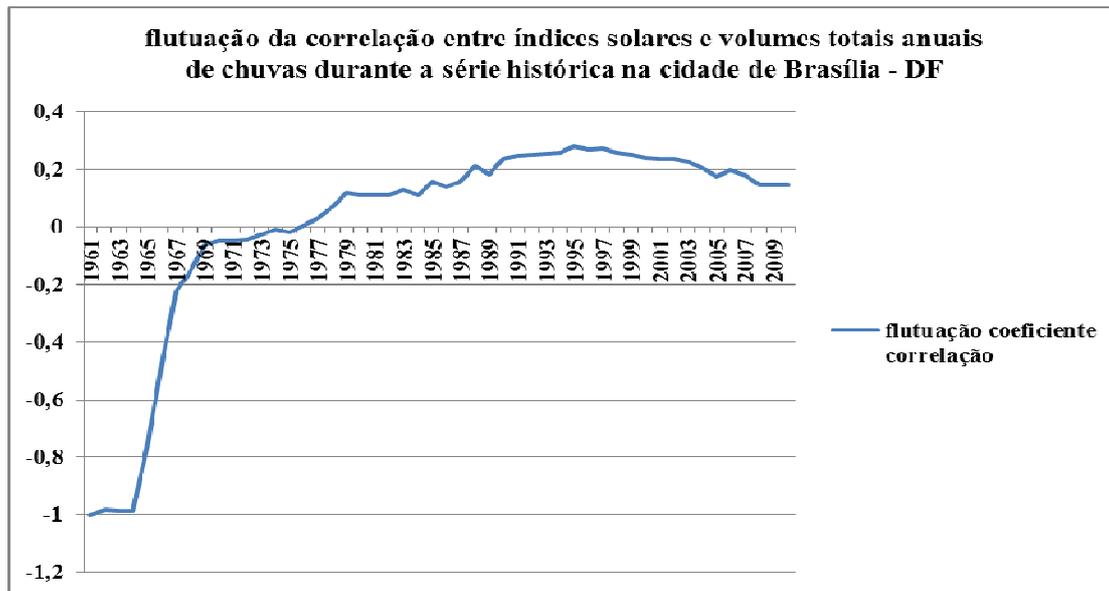
Para esta análise foram escolhidas as cidades de Belém e Brasília, pois estas cidades além de se localizarem em regiões geográficas diferentes apresentam marcadamente climas sazonais distintos. O resultado do teste é apresentado nas figuras 28 e 29.

Figura 28 – Gráfico de flutuação das correlações ao longo da série histórica de 51 anos



Fonte: O próprio autor

Figura 29 – Gráfico de flutuação das correlações ao longo da série histórica de 51 anos



Fonte: O próprio autor

Como se observa nos gráficos as duas cidades apresentam flutuação nos coeficientes de correlação ao longo da série de 51 anos. Brasília inicia a série com valor negativo com forte tendência ascendente. O sinal do coeficiente se inverte no ano de 1974, ciclo solar número 20, saindo de uma correlação inversa para uma correlação direta. A correlação direta se mantém ao longo da série de 51 anos apresentando suave aumento entre 1975 e 1989 ficando na faixa entre os coeficientes 0,2 e 0,4 e apresentando um movimento de decremento a partir do ano de 2005.

As flutuações dos coeficientes de correlação apresentam comportamento diferente na cidade de Belém iniciando positiva, com acentuada queda invertendo o sinal em 1965, início do ciclo número 20. Na trajetória de decremento ocorre uma oscilação da reta no ano de 1963, final do ciclo número 19, e permanecendo negativo durante o resto do período.

A suavidade da curva presente no gráfico de Brasília não se repete em Belém onde sofre oscilações durante todo o período. Entre os anos de 1964 e 1971, final do ciclo número 19 e início do ciclo 20, os coeficientes ficam na faixa entre 0,2 e 0,4. Esses valores se alteram entre os anos de 1971 e 1978, final do ciclo número 20 e início do ciclo 21 a partir do qual os coeficientes apresentam muitas oscilações terminando o período entre as faixas 0,2 e 0,4.

Com o intuito de buscar explicação para o comportamento desses coeficientes de correlação realizou-se uma busca junto a publicações e literatura relacionada

ao tema. Foram encontrados dois trabalhos Almeida (2001) e Figueiredo Filho e Silva Junior (2009).

Almeida (2001) trabalhou com metodologia estatística de correlação em três cidades brasileiras Pelotas no estado do Rio Grande do Sul, Fortaleza no estado do Ceará e Campinas cidade do interior do estado de São Paulo. Nestas três cidades os coeficientes de correlação ficaram entre fraco e moderado. O período analisado pelo autor foi de 1849 a 1999, ou seja, um período maior do que o utilizado neste trabalho. Porém, sua pesquisa estava direcionada para a área da Física e o objetivo do autor era determinar a correlação entre os ciclos solares e os volumes de chuvas destas três cidades baseados no ciclo magnético solar, ficando fora do foco do presente trabalho.

Outra publicação que poderia auxiliar este estudo veio da área da estatística. A explicação para esse comportamento seria a quantidade de anos da série analisada. Segundo Figueiredo Filho e Silva Júnior (2009) ao se trabalhar com a correlação de Pearson é necessário algumas observações que dizem respeito às propriedades dessa metodologia estatística.

Os autores elencam sete propriedades e dentre estas, uma propriedade descrita, talvez seja a chave para explicar o comportamento dos coeficientes de correlação:

“os valores observados precisam estar normalmente distribuídos [...]. Esse pressuposto é especialmente importante em amostras pequenas ($N < 40$). Isto porque, a partir do Teorema do Limite Central, sabe-se que na medida em que o número de observações aumenta, a distribuição das médias amostrais se aproxima da curva normal, independente do formato da distribuição dos dados na população.” (FIGUEIREDO FILHO, SILVA JÚNIOR, 2009, p.123).

Essa propriedade da correlação de Pearson pode ser observada na figura 28 e 29 onde constam as flutuações dos coeficientes. O comportamento da curva da cidade de Brasília apresenta uma tendência de acomodação a partir de 1974 sofrendo pequenas oscilações até o final da série analisada. Em Belém esse comportamento, apesar de inverso, também pode ser observado, pois, excetuando o ano de 1988, onde é possível perceber um pico na curva, o que necessitaria de outras análises e teste para se identificar o porquê desse comportamento, a curva demonstra certa regularidade até o final da série. Em síntese seria necessário maior população, uma série histórica mais longa para determinar mais seguramente se há ou qual é a correlações entres volumes de chuvas e ciclos solares.

Mesmo com todas essas excrescências há uma uniformidade entre os coeficientes. Com exceção de Belém e Porto Alegre, que apresentaram correlação moderada,

as outras cidades apresentaram uma correlação fraca. O que chama a atenção neste caso é a diversidade climática presente no grupo de análise, algumas com volume pluviométrico elevado, como o caso das cidades de Manaus e Belém e outras com a sazonalidade bem marcada como é o caso de Brasília. Apesar dessa grande diferença em termos de volume pluviométrico os coeficientes de correlação apresentam valores muito parecidos demonstrando que apesar de o Sol exercer sua influência sobre todo o globo terrestre, localmente há outros fatores influenciando o regime de chuvas. Esses outros fatores são bem conhecidos na Geografia como latitudes, cobertura vegetal, topografia, relevo, dinâmica da movimentação de massa e outros fatores próprios de cada lugar. .

CONCLUSÃO,

As discussões e divergências em torno do aquecimento global têm gerado grande número de pesquisas na tentativa de se determinar quais suas causas. O interessante é o como o conhecimento científico ocorre, pois, ao se buscar compreender determinado fenômeno, vários outros conhecimentos “satélites” vão surgindo, vão sendo adquiridos. Pode-se dizer que este trabalho foi fruto dessas buscas.

Foram grandes as dificuldades em termos de pesquisa e referências, devido a pouca quantidade de publicações que tratassem do tema dentro da área da Climatologia. Como consequência foi necessária uma incursão em outras áreas do conhecimento científico o que acabou por conferir ao trabalho uma característica de revisão e atualização bibliográfica.

Durante o processo de investigação se pode constatar que a maioria das discussões buscavam explicações na física, na química, nas ações antrópicas. As características geográficas, componente importante da dinâmica do comportamento do clima ou ficavam relegados a segundo plano ou não constavam como elemento importante a ser considerado na busca da compreensão dos fenômenos atmosféricos. Por essa razão se quis trazer as pesquisas que estão sendo realizadas nas áreas da física, tanto solare como meteorológica e associa-las aos conhecimentos da climatologia, mais especificamente a diversidade climática presentes no território brasileiro para compará-lo com as oscilações já bem conhecidas do comportamento solar.

As pesquisas de Svensmark, Bondo, Svensmark (2009) demonstraram inequivocadamente, pelo menos até aqui, que os ciclos solares influenciam no aumento da nebulosidade tendo como consequência a diminuição ou aumento da temperatura média global. Porém suas pesquisas chegam somente até este ponto não trazendo os desdobramentos dessa variação de temperatura sobre o regime de chuvas, pois, por exemplo, a diminuição da temperatura leva à menor evaporação e conseqüente diminuição de vapor d’água disponível na atmosfera. A partir das informações fornecidas por Martins, para que se formem nuvens é necessário, além de aerossóis também vapor d’água.

Com isso, este trabalho demonstrou que mesmo o Sol atuando sobre todo o planeta cada lugar é único. Com base nestas singularidades seria necessário proceder a uma investigação mais aprofundada de cada uma dessas cidades, como por exemplo, a conformação dos relevos, cobertura vegetal, presença de matas e florestas, que massas atmosféricas agem sobre a região, onde essas massas se originam, entre tantas outras variáveis

físicas. De posse de todas estas informações e aliados aos coeficientes de correlação se poderia traçar um mapa indicando até onde as variações solares interferem em cada localidade. Este trabalho se situa em uma fase rudimentar, espera-se, porém que possa ter contribuído de alguma forma para que outros, dentro da Geografia, se interessem pelo tema e refine as pesquisas.

Fica como sugestão para outros trabalhos, além de uma análise mais minuciosa das configurações físicas das cidades, a busca de dados temporais mais extensos o que possibilitaria alcançar coeficientes de correlação mais próximos da realidade de cada lugar.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A.C.A de. **Estudo das correlações entre atividade solar e processos atmosféricos**. Tese de mestrado, UNICAMP, Instituto de física “Gleb Wataghin”, Departamento de Raios Cósmicos, abril, 2001, 89 p.
- AYOADE, J.O. *Introdução à Climatologia para os Trópicos*. 10ª Ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.
- COSTA, J. R. V., **Atividade solar**. Astronomia no Zênite. Disponível em www.zenite.nu. Vários acessos.
- CARSLAW, K.S, HARRISON, R.G., KIRKBY, J. Cosmic rays, clouds, and climate. **Review: atmospheric Science**. 29 november 2002, vol 298, p 1732-1737. Disponível em www.sciencemag.org.
- DAVIS, Mike. *Holocaustos Coloniais* – clima, fome e imperialismo na formação do Terceiro Mundo. Rio de Janeiro: Record, 2002.
- ECHER, E. et al. O número de manchas solares, índice de atividade do sol. **Revista brasileira de ensino de física**, São Paulo, vol 25, s.p., jun 2003.
- FIGUEIREDO FILHO, D.B.; SILVA JÚNIOR, J.A.da. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, vol. 18, nº1, 2009; p. 115-146.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em www.inmet.gov.br .
- MARTINS, J. A. **Nuvens**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por reginamagnafranco@hotmail.com, 05/01/2011.
- NUNES, L.N. **Método de imputação de dados aplicados na área de saúde**. Tese de doutorado, Porto Alegre, setembro. 2007, 120 p.
- SILVA, Adriana V. R. *Nossa Estrela: o sol*. 1ª Ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.
- SVENSMARK, H., BONDO, T., SVENSMARK, J. Cosmic ray decreases affect atmospheric aerosols and clouds. **Geophysical Reserarch Letters**, vol.36, 2009.L15101, p.1-4.
- TAVARES, Armando D. **Revisão Breve e a Relação com a Química da Atmosfera e os Raios Cósmicos**. Disponível em <www.armandodiatavares.multiply.com>. acesso em 01/10/2010.